Università degli Studi di Parma

Facoltà di ingegneria

Corso di laurea in Ingegneria Meccanica

“Tecniche non distruttive per la diagnosi di funi in acciaio: il metodo magneto-induttivo ”

“Non-destructive techniques for the diagnosis of steel cables : The magneto inductive technique”

Relatore
Ing. Luca Collini

Tesi di laurea di
Dore Mattia

Anno accademico 2010-2011

Indice

1.Introduzione

Le prime funi erano costituite da tendini di animali e/o da liane: sicuramente in tempi successivi si è sviluppata l'idea d'intreccio di fili sia di origine animale che vegetale per aumentarne la resistenza. Sappiamo che sia i cinesi che gli egiziani utilizzavano funi molti secoli a.C. e che sapevano produrre fili anche dai metalli. Non abbiamo molti reperti storici: in Italia a Pompei è stato ritrovato uno spezzone di fune di rame fabbricato con 3 trefoli di 19 fili ciascuno. Lo stesso Leonardo da Vinci cita l'esistenza di funi sia in acciaio che in rame i cui fili erano sicuramente ottenuti per forgiatura. Ma le prime funi erano sicuramente eseguite con vegetali intrecciati ed usate per la costruzione di ponti sospesi. Gli Inca avevano standardizzato la costruzione di ponti sospesi, utilizzando ed intrecciando la paglia esistente sul posto per formare funi a più trefoli. Quindi liane o specifiche funi hanno aiutato l'uomo a superare fiumi o profondi avvallamenti.

Tra il 1400 ed il 1800 vennero fatti molti tentativi per costruire funi con fili di acciaio trafilati piuttosto che forgiati: ciò avrebbe permesso di elevare notevolmente la tensione nelle funi e quindi di realizzare impianti molto più performanti. Solamente agli inizi del 1800 si cominciarono ad impiegare e costruire funi in acciaio trafilato. Nel 1834 Albert di Clausthal costruì una fune in acciaio lunga 605 metri, avente un diametro di 18 mm e composta da 3 trefoli di quattro fili ciascuno avente una resistenza a trazione di 55 kg/mm^2. Tale lunghezza fu ottenuta inserendo i fili opportunamente sfalsati nei trefoli: infatti la lunghezza massima allora ottenibile per ciascun filo era pari a 40 metri circa. Albert di Clausthal che lavorava nelle miniere contribuì fortemente allo sviluppo delle funi trafilate tanto che già nel 1850 tutte le miniere usavano regolarmente funi in acciaio con sei trefoli. La necessità di potenziare il trasporto di materiali nelle miniere contribuì fortemente a migliorare la tecnologia del trasporto a fune anche con l'introduzione di dispositivi di ammorsamento automatico alla fune. Von Ducher costruì nel 1879 una teleferica bifune (con fune portante e traente distinte) lunga quasi due kilometri ed avente dislivello di 41 metri. I sostegni erano ancora di legno ma erano dotati di scarpe per l'appoggio delle funi portanti e di rulli per la fune traente.

In Italia la prima casa costruttrice fu fondata dagli Ing. Cerretti e Tanfani nel 1894. Un fondamentale passo in avanti fu ottenuto grazie al miglioramento delle caratteristiche meccaniche delle funi che già agli inizi del 1900 potevano vantare una resistenza meccanica di 180 kg/mm^2.

2 Le Funi

Le funi di acciaio sono dei componenti meccanici compositi destinati alla trasmmissione di forza e movimento in direzione assiale. Esse possono scambiare forze con l’ esterno tramite la loro connessione alle estremità e tramite la loro deviazione mediante pulegge, tamburi, carrucole ecc. A causa della loro struttura elicoidale e dello scambio di forze con gli elementi a cui è accoppiata, le sollecitazioni a cui i sui fili e trefoli sono sottoposti sono sforzi composti. Le funi quindi non sono nè elementi ispotropi nè omogenei. Sono composte tipicamente da molti elementi (fili,trefoli,anima) che tenuti insieme per accostamento definiscono la struttura finale. Sollecitazioni eccessive possono quindi compromettere la geometria e di conseguenza le prestazioni per cui la fune è concepita. L’ elevata capacità di sostenere carichi assiali, la flessibilità, l antigirevolezza (con opportuna disposizione dei trefoli) e la maneggevolezza sono le maggiori qualità di una fune metallica e sono rese possibili grazie alle ridotte dimensioni trasversali degli elementi che la costituiscono. Per contro la loro disomogeneità comporta la riduzione della loro stabilità geometrica e della resistenza all’ abrasione. La fune come detto prima non essendo un materiale isotropo (le supe proprietà dipendono dalla direzione delle sollecitazioni applicate) impone il suo utilizzo solo nel caso di sollecitazione prevalentemente di trazione. Eventuali stati tensionali di compressione in essa possono portare a conseguenze distruttive alla struttura. La risposta alle sollecitazioni da parte degli elementi della fune non è proporzionale alle sollecitazioni stessa, quindi non è un materiale linearmente elastico. Questo le consente di offrire buona resistenza ai carichi impulsivi. Le funi di acciaio sono componenti di sicurezza degli impianti in quanto presentano:

- Ridotta incidenza di difetti tali da compromettere la capacità di carico.
- Andamento progressivo del degrado dovuto all’ esercizio
- Altissima rivelazione dello stato operativo

Infatti è praticamente impossibile che danni dovuti a comune situazioni d’ impiego o difetti di produzione possano essere tali da interessare un porzione consistente delle funi o che tutti i fili componenti la struttura raggiungano uno stato di affaticamento, corrosione, usura uguale nello stesso tempo. Le funi devono ovviamente essere utilizzate a un regime di sollecitazione inferiore a quello che ne può determinare la rottura.

A questi elementi meccanici, ormai di uso diffuso, affidiamo spesso la nostra sicurezza. Perciò i livelli di controllo su questi componenti sono scrupolosi fin dalle operazioni iniziali di realizzazione fisica.

2.1 Elementi costitutivi,designazioni,definizioni,

Elementi costituitivi

Fune: È l'insieme di più trefoli avvolti attorno ad un'anima tessile o metallica mediante l'operazione di cordatura.
Prima di questa operazione i trefoli sono sottoposti a "preformazione" con lo scopo di conferire loro la forma elicoidale che assumeranno nella formazione finale della fune.
Con la preformazione si acquisiscono i seguenti vantaggi:

a) quando la fune viene tagliata i trefoli non si svolgono e non servono saldature

b) migliora il comportamento a fatica della fune

a) i fili, in caso di rottura, mantengono la loro posizione

Filo: È l'elemento costitutivo della fune di acciaio ed è ricavato mediante trafilatura dalla vergella. Attraverso varie operazioni la vergella di un determinato diametro si trasforma, per successive riduzioni, in filo di prestabilite caratteristiche dimensionali e meccaniche. Sono avvolti su bobine da installare sulle macchine cordatrici per la realizzazione dei trefoli o manti nel caso di funi spiroidali.
Possono essere di sezione circolare (fili tondi) o sagomati a Z.

Trefolo: È' l'insieme di più fili disposti ad elica attorno ad un'anima centrale costituita da un filo metallico o di derivazione tessile, naturale o sintetica. Vengono assemblati sulla macchina cordatrice partendo dalle bobine di filo.
Vengono definiti :

a) "passo dei fili nel trefolo" la combinazione dell' avanzamento del trefolo finito con la rotazione del castello porta bobine.
b) "senso di avvolgimento del filo nel trefolo" il senso di rotazione durante l' avvolgimento del trefolo.

La costruzione del trefolo può essere realizzata mediante una o più operazioni.

Nel primo caso i fili dei vari strati sono concordi e si appoggiano lungo le linee. Nel secondo i fili dei diversi strati si incrociano tra di loro.

Anima: E' la parte centrale della fune che può essere di natura metallica (nucleo spiroidale di fili in acciaio) o flessibile (tessile).

L' anima in una fune metallica a trefoli ha il compito di :

a) Sostenere i trefoli nella loro corretta configurazione geometrica assegnata.

b) Fornire alla funi di movimento flessibilità necessaria per l' avvolgimento e svolgimento sulle pulegge di movimento.

c) Mantenere all' interno della fune stessa il lubrificante (grasso in questi dispositivi) necessario per ridurre lo strisciamento tra i fili.

possono essere formate con :

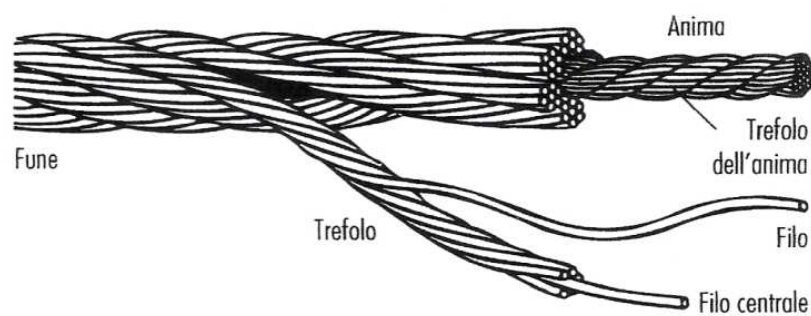
b) fibre metalliche (acciaio legato)
c) fibre naturali (canapa, juta, cotone)
d) fibre sintetiche (polietilene, polipropilene)

Rappresentazione di una fune a trefoli

Figura 1.1

Designazioni

La formazione è la struttura della fune rilevata dalla sezione retta (numero e disposizione dei fili, dei trefoli e della eventuale anima), la designazione viene fatta con dei numeri (indicanti il numero dei fili) e della lettere che designano tipo anima, tipo fili ecc.

ANIMA : In relazione al materiale di cui essa è formata si hanno i seguenti simboli

FC: anima di fibre tessili naturali o artificiali

NF: anima di fibre tessili naturali

SF: anima di fibre tessili artificiali

WS: anima di acciaio costituita da un trefolo

WR: anima di acciaio costituita da una fune

FILI :La designazione tiene conto del tipo di sezione. Se la sezione è circolare non si riporta nessun simbolo.

V : Fili a sezione triangolari

I : Fili a sezione triangolare

T : Fili a sezione trapezoidale

Q : Fili a sezione ovale

H : Fili a doppia gola alternati con fili tondi

Z : Fili sagomati a Z

TREFOLI :Si designano in base al tipo di sezione

Per la sezione tonda non si usa nessun simbolo

V : Sezione triangolare

I : sezione piatta

Q : Sezione ovale

STATO SUPERFICIALE

NAT : fili lucidi

ZAB : fili zincati di classe AB

Definizioni

Diametro e tolleranze : Il diametro normale della fune è il diametro del cerchio circoscritto alla sezione normale della fune.

La misura del diametro si effettua in due punti distanti almeno un metro; in ciascun punto si misurano due diametri a 90° uno dall'altro; la media dei quattro valori rilevati si assume come diametro effettivo.

La misurazione viene fatta normalmente su un tratto di fune diritto non sottoposto ad alcuna trazione.

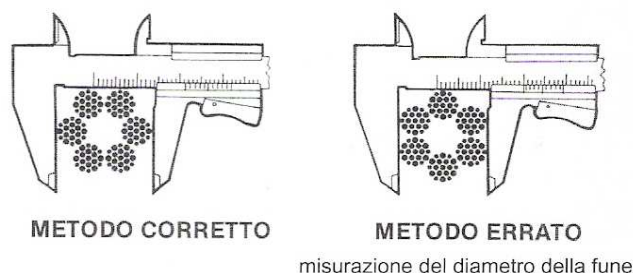



Figura 1.2

Per i rilievi particolarmente precisi, il diametro effettivo si misura sottoponendo la fune ad una trazione pari al 5% del carico di rottura minimo garantito.

Al momento della costruzione il diametro nominale può essere maggiore di circa il 4-5% che si ridurrà con la messa in esercizio della fune stessa al 3% circa.

Viene indicato con il termine "diametro effettivo" il valore del diametro corrente nel corso della vite della fune. Le tolleranze ammesse sul diametro sono riportate nella tabella seguente, in conformità alla norma ISO 2408.

Ø fume / Ø rope mm	Tolleranze / Tolerances		
	con trefoli / strands		per ascensori for elevators ISO 4344
	con anima tessile with fibre core	con anima metallica with steel core	
da / from 2 < 4	-0 / +9%	-0 / +8%	
da / from 4 < 6	-0 / +9%	-0 / +7%	
da / from 6 < 8	-0 / +8%	-0 / +6%	
≥ 8	-0 / +7%	-0 / +5%	
< 10			+5% / +1%
> 10			+4% / +1%

Figura 1.3 Tolleranza sulla lunghezzadelle funi

La differenza tra la lunghezza nominale e la lunghezza effettiva delle funi (senza tensione applicata) è compresa nelle seguenti tolleranze:

Lunghezza nominale Nominal Length	Tolleranze Tolerance
Fino a 400 m / Up to 400 m	-0 / +5%
Da 400 a 1000 m / From 400 to 1000 m	-0 / +20 m
Superiore a 1000 m / More than 1000 m	-0 / +2%

Figura 1.4 Lunghezza nominale

Formazione : Definisce la composizione della fune. Per le funi a trefoli si indica in successione;
il numero dei trefoli componenti la fune, il numero dei fili componenti ciascun strato del trefolo, la composizione dell'anima.

Ad esempio una fune da 114 fili, composta da 6 trefoli, ciascuno con filo centrale, primo strato e strato esterno da 9 fili viene indicata nel modo che segue : 6 x (1+9+9).
Altri esempi di designazione :

Fune S1 PPC : fune a 6 trefoli, strato esterno 9 fili, strato interno 9 fili, ciascuno con filo centrale.
Fili totali 114.

Designazione completa:	Designazione abbreviata:
6 (9-9-1) - PPC	6x19S - PPC

Fune S11 : fune a 6 trefoli, strato esterno 16 fili, strato intermedio 16 fili, strato interno 8 fili, ciascuno con filo centrale.
Fili totali 246.

Designazione completa:	Designazione abbreviata:
6 (16-8/8-8-1) - IWRC (7x7)	6x41 WS - IWRC

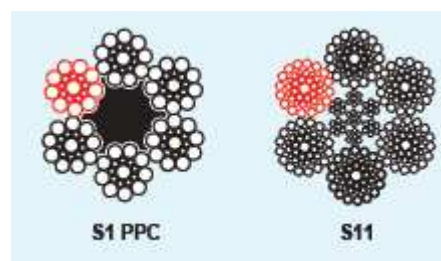



Figura 1.5 rappresentazione sezioni funi a trefoli

Le lettere FC stanno ad indicare l'anima della fune in fibre naturali o sintetiche, mentre le lettere IWRC indicano che l'anima è costituita da acciaio.

Senso di avvolgimento : Il senso di avvolgimento è, per definizione, riferito ai fili esterni rispetto ai trefoli (o funi spiroidali) e dei trefoli rispetto alla fune, secondo ISO 2408. UNI 1519-74
Senso di avvolgimento del filo nel trefolo si ottiene stabilendo il senso di rotazione del cestello portabobine dei fili nella macchina cordatrice del trefolo mentre il senso di avvolgimento del trefolo nella fune è ottenuto stabilendo il senso di rotazione del cestello portabobine dei trefoli nella macchina cordatrice della fune.

Z : indica il senso di avvolgimento destro. Tenuta la fune verticale l' osservatore vede le spire nella direzione del tratto mediano della lettera Z.
S : indica il senso di avvolgimento sinistro. Tenuta la fune verticale l' osservatore vede le spire nella direzione del tratto mediano della lettera S.
Nel caso di funi a trefoli si impiegano due lettere con altezza di carattere differente.
La prima, più piccola, indica il senso di trefolatura dei fili esterni nei trefoli.
La seconda, più alta, indica il senso di cordatura dei trefoli nella fune.

Figura 1.6 Senso di cordatura

Passo di cordatura: Nel caso vengano presi in esame filo e trefolo si definisce "passo di cordatura del filo nel trefolo" la lunghezza misurata sull' asse del trefolo in corrispondenza di una spira completa del filo.
Nel caso vengano presi in esame trefolo e fune si definisce "passo di cordatura del trefolo nella fune " la lunghezza misurata sull' asse della fune di una spira completa del trefolo.

Angolo di avvolgimento : Definito come l' angolo formato tra l' asse della fune e l' asse del trefolo (angolo di avvolgimento del trefolo nella fune) o come l' angolo formato tra l' asse del filo e quello del trefolo (angolo di avvolgimento del filo nel trefolo) .

Massa/Peso unitario : È la massa/ peso di una determinata lunghezza corrispondente a un metro lineare di fune.

Carichi di rottura : Si divide in 3 diverse misurazioni

a) **Carico di rottura minimo garantito :** È quello indicato sul catalogo in corrispondenza ad ogni fune ed è quello che vale agli effetti delle norme antinfortunistiche, per definire la portata della fune.
b) **Carico di rottura effettivo :** È il carico che si ottiene nella prova di rottura a trazione e deve essere sempre superiore a quello minimo garantito.
c) **Carico somma prima della cordatura :** È la somma del carico di rottura dei singoli fili prima della cordatura. È un valore puramente teorico sempre superiore (dal 10 al 20%) ai precedenti carichi e non serve per stabilire la portata della fune

Coefficiente di cordatura : Definito come il rapporto tra il carico di rottura effettivo e il carico somma della fune minore dell' unità. Il valore si aggira sull' ordine di 0,8 per funi a trefoli con anima tessile e 0,88 per funi chiuse.
E rappresenta la perdita di prestazione tra la fune costruita e il fascio di fili di partenza.

E' un valore fortemente influenzato da vari fattori che sono :

a) Configurazione della fune (trefoli, chiusa, numero di manti, ecc…)
b) Distribuzione non omogenea del carico sui vari manti di fili e trefoli, per effetto di non corretta progettazione.

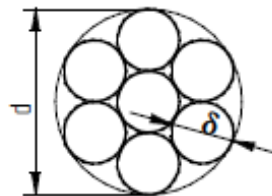
Sezione metallica : È data dalla somma delle sezioni trasversali rette di tutti i fili componenti la fune misurata in mm^2.

Gli elementi per il calcolo della sezione vengono forniti dal produttore di funi stesso.

Sezione lorda e sezione resistente

Poniamo δ diametro del filo d diametro nominale della fune (diametro della circonferenza circoscritta) k numero di fili si pone

$Ar = \frac{\pi\delta^2}{4} \times k$ area della sezione resistente

$Al = \frac{\pi\delta^2}{4}$ area della sezione lorda

mediamente si ha: $Ar \approx 0{,}43\ Al$

Prestiratura : Effettuata in fase di costruzione della fune per limitarne l' allungamento permanente dopo la sua messa in opera. Questo trattamento cerca di uniformare il più possibile la distribuzione dei carichi tra i vari trefoli e di far risparmiare le operazioni di accorciamento della fune che altrimenti sarebbero necessari dopo un determinato periodo di utilizzo. La procedura è molto semplice e consiste nel sottoporre la fune, prima del suo impiego, a trazione con un carico che si aggira alla metà del suo carico di rottura massimo.

Può essere realizzata in due modi :

a) **prestiratura statica:** si esegue a carichi di circa il 50% della forza di rottura con una serie di cicli di carico, permanenza del carico per un dato tempo, e scarico fino al completo assestamento della fune.

b) **prestiratura dinamica:** si esegue in linea alla fabbricazione della fune su un prestiratore posizionato prima dell'avvolgimento finale della fune, con tensione che generalmente è 1/3 della forza di rottura. In questo caso la prestiratura è composta da sforzi di trazione e flessione che rappresentano un effettivo "rodaggio" della fune.

Allungamento e modulo elastico : Ogni fune, sottoposta ad uno sforzo di trazione, subisce due tipi di allungamento:

a) l'allungamento dovuto all'elasticità dell'acciaio costituente i fili;
b) l'assestamento di tutti gli elementi che compongono la fune (fili, trefoli, anima).
Quest'ultimo assestamento è permanente e definitivo e si manifesta più o meno rapidamente in funzione dell'intensità del carico di lavoro, della composizione e formazione della fune, con una leggera diminuzione di diametro ed un allungamento del passo di cordatura, e quindi della fune, dell'ordine del 0,2 ÷ 0,5%.
Funi sottoposte a valori molto gravosi si possono allungare anche dello 0,8% durante la loro vita.
L'allungamento elastico dell'acciaio, per i tassi di lavoro ammessi, è invece proporzionale al carico e si annulla quando il carico è tolto. Si può dedurre che funi con modulo elastico inferiore assorbono meglio gli strappi dovuti a condizioni di lavoro gravose, in quanto il maggior allungamento elastico consente l'assorbimento del lavoro di deformazione.
Si possono dare solo valori indicativi del modulo elastico perché in pratica può risultare assai diverso secondo le modalità costruttive della fune.

Il modulo elastico dipende dalla conformazione della fune e può valere :

a) 125 kN/mm^2 per funi a trefoli dopo un certo periodo di utilizzo.
b) 140 kN/mm^2 per funi portanti di tipo Ercole-
c) 160 kN/mm^2 per funi chiuse.

Per una sua misura accurata, non si può fare riferimento al diagramma carico/allungamento fornito dalla macchina di prova in quanto i risultati forniti da quest' ultima comprendono la somma dell' allungamento elastico e del cedimento degli afferraggi . Deve essere fatta una misura in un tratto di fune non interessato dagli afferraggi mediante un estensimetro elettronico.
La procedura per effettuare il calcolo del modulo elastico effettivo è divisa in vari punti:

a) Installazione del provino (fune) nella macchina di trazione.
b) Applicazione dell' estensimetro sul pezzo di fune da analizzare.

c) Esecuzione di vari cicli di carico con intensità variabile tra il 10-50 % del carico di rottura dichiarato.
d) Misurazione delle variazioni di allungamento in fase di discesa del carico correlandole alla corrispondente variazione di carico.

La procedura appena descritta non è certificata da nessuna norma quindi è molto variabile a seconda della esigenze del richiedente

Formula per la determinazione del modulo elastico:

$$\frac{(F2 - F1) \times L}{(l2 - l1) \times A} = E$$

F_2 = carico corrispondente al 40% del carico di rottura dichiarato (N)

F_1 = carico corrispondente al 30% del carico di rottura dichiarato (N)

l_2 = lettura dell' estensometro in corrispondenza di F_2 (mm)

l_1 = lettura dell' estensometro in corrispondenza di F_1 (mm)

L = lettura dell' estensometro ,lunghezza fune (mm)

A = sezione della fune (mm^2)

Formula per la determinazione dell' allungamento percentuale:

$$\frac{(F2 - F1) \times L}{E \times A} = l_2 - l_1 = \Delta l$$

Allungamento permanente: Variabile dal 2 -6 $^0/_{00}$, dato dall' assestamento delle varie parti che compongono la fune, di solito si manifesta nella fase iniziale della messa in esercizio della fune e la sua entità dipende dalla sollecitazione a cui è sottoposta quest' ultima.

Allungamento termico : La dilatazione termica degli acciai è solitamente dell' ordine di 0,000011/0,000012 volte la lunghezza della fune ogni grado di temperatura. L' allungamento termico nelle funi diventa rilevante per definire i sistemi di tensione, quando a contrappeso, o nella verifica delle variazioni di tensione nelle funi. Solitamente negli impianti a fune si calcola un salto di temperatura di 60^0 C.

Sollecitazioni generate nelle funi Sono 3 ed i loro effetti si sommano, anche non tutte hanno lo stesso peso per cui una o più di esse possono essere trascurate

1.Sollecitazione unitaria di trazione σt dovuta al tiro T
2.Sollecitazione unitaria di flessione σf dovuta all'avvolgimento della fune sul tamburo
3.Sollecitazione unitaria σc dovuta alla forza centrifuga, (in genere è trascurabile)
la sollecitazione totale sarà:

$$\sigma = \sigma t + \sigma c + \sigma f$$

Sollecitazione unitaria di trazione σt

È una sollecitazione di trazione per cui vale la relazione

$$\sigma t = T/Ar$$

Sollecitazione unitaria di flessione σf
Ricordando la relazione della curvatura nel caso di una sollecitazione di flessione retta; trascurando la curvatura che l'avvolgimento della fune impone sul filo rispetto a quella della fune sul tamburo.
Chiamando con Rp il raggio esterno del tamburo, D il suo diametro, con I il momento di inerzia della sezione retta del filo, con E il modulo di elasticità lineare del materiale si ha :

$$\frac{1}{Rp} = \frac{Mf}{EI} \qquad M_f = \frac{EI}{Rp}$$

Per il filo che si avvolge sul tamburo:

$$\sigma f = \frac{Mf}{Wf} \qquad W_f = \frac{2I}{\delta} \qquad \sigma f = \frac{\delta Mf}{2I}$$

Sostituendo si ottiene :

$$\sigma f = \frac{\frac{EI\delta}{2RpI}}{} = \frac{\frac{E\delta}{Dp}}{}$$

la tensione calcolata con questa formula risulta elevata e sperimentalmente si introduce un parametro k ottenendo la relazione finale :

$$\sigma f = k \times \frac{E\delta}{Dp}$$

sperimentalmente si è ottenuto $k = \frac{3}{8}$

da cui si ottiene la formula:

$$\sigma f = \frac{3}{8} \times \frac{d}{D}$$

Questa formula trovata da BACH non risulta giustificata da considerazioni teoriche, ma esse è quella che meglio rappresenta la sollecitazione effettiva.

La resistenza totale della fune è quindi minore della somma della resistenza dei singoli fil , ciò è determinato dalla irregolare distribuzione del carico sui fili e delle sollecitazioni secondarie, la perdita detta di cordatura varia tra il 5 e il 15% per funi con un numero di fili basso a funi con un numero di fili alto.

2.2 Tipologie di funi

Le funi sono utilizzate in innumerevoli applicazioni, sollevamento di carichi, ascensori, ormeggio navi, funivie, realizzazioni ponti e tante altre. Preferibili alle catene per un grado di sicurezza sicuramente maggiore, basta la rottura di un' unico anello per rendere quest' ultime inutilizzabili. La struttura delle funi varia profondamente a seconda dell' utilizzo che ne viene fatto. Di seguito verranno elencate le principali tipologie di funi fornite al giorno d' oggi.

I diagrammi delle proprietà delle funi rendono più agevole e mirata la scelta del tipo di fune da utilizzare a fronte delle necessità previste per la sua applicazione.
In particolare consente di identificare funi alternative rispetto a quelle già installate dove queste non si dimostrassero completamente idonee.

Figura 2.1 Esempio mappa delle funi.

funi spiroidali : Presentano un’ anima metallica realizzata per sovrapposizione di strati di fili di diametro simile con elica incrociata per compensare la torsione.
L’ anima metallica non conferisce grande flessibilità alla fune e quindi sono impiegate per supporti o ancoraggi tra elementi statici.

È costituita unicamente da fili di acciaio non legato

Designazione completa 12+6+1 = 19

Designazione abbreviata 1 * 19

funi a trefoli : È costituita da uno o più strati di trefoli con anima centrale in fibra tessile o metallica
Nella designazione si riportano il numero di fili presenti dall'esterno verso il centro, si riportano il numero di trefoli e tra parentesi il numero di fili nei trefoli. Sotto indicate le tipologie più utilizzate

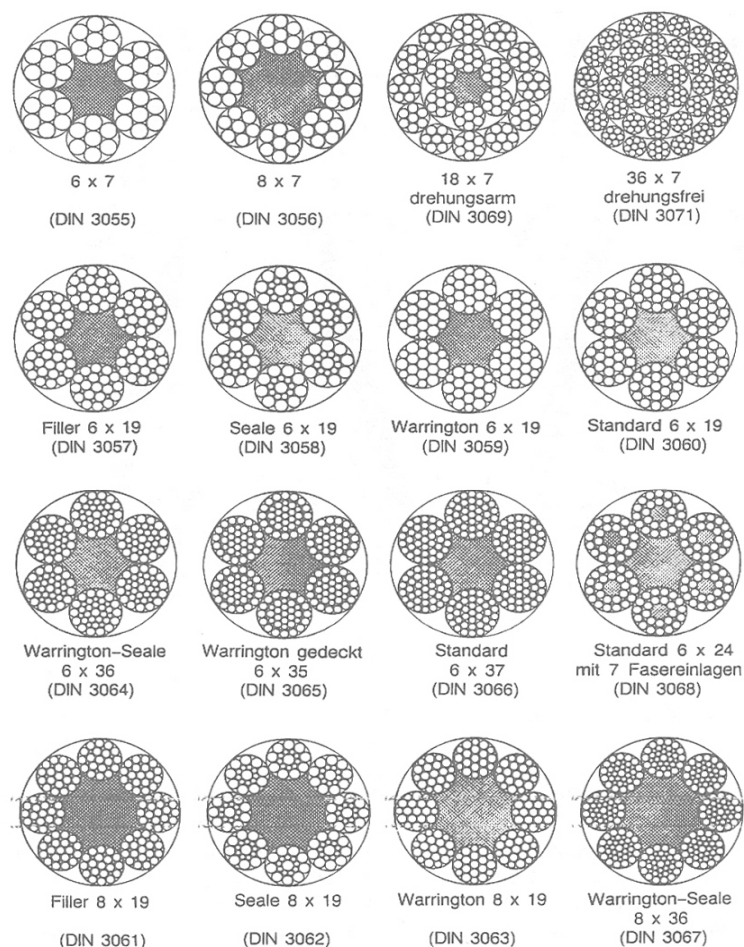



Figura 2.2 tipologia di funi a trefoli

Con particolare attenzione agli impianti funiviari :

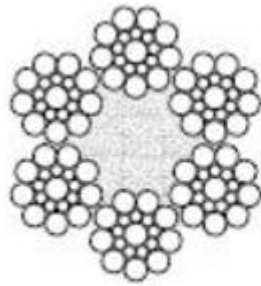
funi seale : Funi nel quale il numero di fili rimane uguale per ogni strato. Man mano che aumentano gli strati aumenta anche il diametro dei fili. Essi si dispongono nei solchi lasciati dagli strati più interni conferendo un contatto lineare tra i fili stessi. La geometria di questa fune permette ad essa di avere una buona flessibilità, consentita dal diametro ridotto dei fili interni, e un' ottima resistenza ad usura conferita dal diamentro maggiore dei fili esterni.
Solitamente sono utilizzate per traenti di sciovie e portanti-traenti di monofuni.

Sezione seale 6x19 **trefolo seale**

Figura 2.3 fune Seale

funi Warrington : fune formata da più strati. Nel primo i fili presentano medesimo diametro, nel secondo il numero di fili è doppio di quello interno. E' disposto un filo in ciascun solco del primo strato. Tra questo si trovano fili di diametro minore con un contatto lineare tra di essi. I trefoli sono perfettamente rotondi e con contatti uniformi su pulegge e rulli.

Sezione Warrington 6x31 **trefolo Warrington 1+6+6/6**

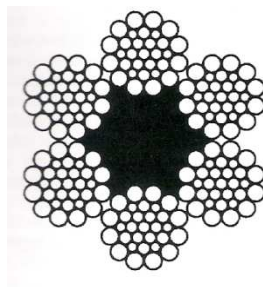
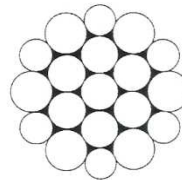



Figura 2.4 fune Warrington

funi filler : Formate da almeno tre strati con corrispondenti tre diametri differenti ma uniformi in ogni strato. Caratterizzata da fili di riempimento di piccolo diametro.

Vengono utilizzate per portanti-traenti o per zavorre.

Sezione filler 6x25 **trefolo filler**

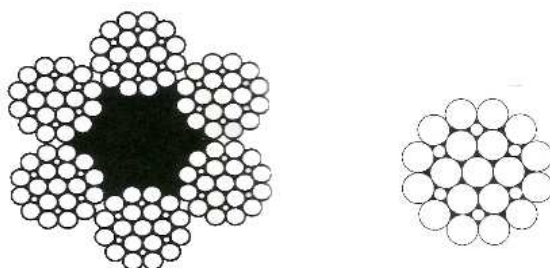



Figura 2.5 fune Filler

funi compatte : Nelle funi compatte oltra al filo anche il trefolo viene trafilato. Ne consegue un appiattimento dei fili esterni che consegue un miglior riempimento con prestazioni maggiori della fune.

La compattazione dei trefoli è un processo di deformazione a freddo del trefolo stesso nel suo complesso e dei suoi fili in particolare, realizzato riducendone il diametro per mezzo del passaggio attraverso una filiera o una coppia di rulli.
A seguito del processo di compattazione, si operano delle profonde modificazioni della forma dei fili elementari tali da:
• aumentare la sezione metallica del trefolo;
• creare zone di contatto estese tra i fili;
• ottenere una superficie del trefolo più liscia, regolare e meno permeabile;
• rendere più uniforme la ripartizione delle tensioni sui fili;
• aumentare la stabilità dimensionale del trefolo rispetto alle forze trasversali;
• possibilità di operare con maggiore lunghezza del passo e quindi di ottenere un maggiore modulo di elasticità.
L'utilizzo di funi a trefoli compattati si è esteso notevolmente in tutti i settori di applicazione e particolarmente in quegli impieghi dove si riscontrano sollecitazioni composte (trazione-pressione trasversale). Infatti essi trovano diffusa applicazione per la costruzione di funi ad alta capacità di carico (grazie alla aumentata sezione metallica) e per la costruzione di funi soggette a forti pressioni laterali o abrasioni (grazie alla solidità dei trefoli ed alla loro grande superficie di contatto).
Alternativamente è possibile, a pari carico di rottura della fune, adottare una minore resistenza unitaria dei fili migliorando le prestazioni della fune legate alla duttilità ed alla resistenza a fatica del materiale.

Funi a matrice metallica (funi Ercole) : composte unicamente da fili a sezione circolare.
Un nucleo di tipo spiroidale realizzato con diversi manti di fili ad avvolgimento incrociato è avvolto ad uno strato di trefoli.
Le funi con anima metallica plastificata sono composte da uno strato di trefoli (esterni) avvolto su una anima metallica rivestita da una guaina plastica. L'inserimento di un riempitivo plastico riduce drasticamente la possibilità di scorrimenti relativi dei diversi componenti ed è perciò in grado di prevenire il verificarsi di alterazioni geometriche delle funi. La plastificazione perciò assolve alle seguenti funzioni:

- creare un giunto meccanico che fissa le posizioni reciproche dei componenti della fune consentendone però la necessaria libertà di movimento;
- contribuire alla riduzione di fenomeni di corrosione interna perché riduce la permeabilità della fune agli agenti inquinanti;
- riempire lo spazio libero tra i trefoli esterni

Sulla sezione di una fune Ercole l' effettivo stato di tensione non è omogeneo.
La tensione risulta maggiore per i fili esterni del nucleo spiroidale a causa della pressione tra i trefoli ed il nucleo e la rispettiva differenza di modulo elastico tra di essi.

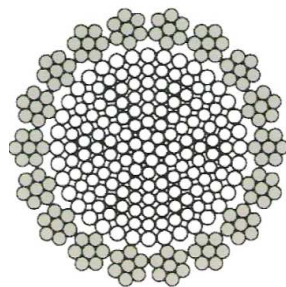



Figura 2.6 Sezione fune Ercole

Funi chiuse : Funi costituite da un nucleo spiroidale di fili tondi in più manti con avvolgimento incrociato e uno o più manti di fili sagomati a Z anche essi ad avvolgimento incrociato.

Questo avvolgimento incrociato conferisce alla fune la proprietà di anti svolgimento (La rotazione della fune attorno al proprio asse è un fenomeno da evitare in quanto altera profondamente i rapporti

geometrici esistenti sbilanciando la ripartizione degli sforzi tra i fili e può provocare la rotazione del bozzello fino a fare attorcigliare tra loro le funi).

I vantaggi offerti dalle funi chiuse sono :

a) Elevato coefficiente di riempimento che permette un carico resistente più elevato rispetto alle altre tipologie di funi.
b) Superficie esterna cilindrica che le fa preferire ad altre tipologie quando la fune deve scorrere tra pulegge o per esempio nei rulli di un carrello di funivia.
c) Protezione elevata del nucleo spiroidale alla corrosione.
d) Ridotti i danneggiamenti dovuti allo strisciamento
e) Possibilità di riparare i fili in opera.

Gli svantaggi di contro sono la poca flessibilità che ne rende difficoltoso l' avvolgimento.

Infatti sono più elevati i rapporti di avvolgimento (diametro struttura/diametro fune) dei tamburi di ancoraggio.

Questa poca flessibilità rende sensibili le funi chiuse all' effetto dell' usura per fatica generata dagli enormi cicli di piegamento raddrizzamento a cui sono sottoposte.

Essendo che queste funi vengono utilizzate anche nel campo del trasporto di persone le norme impongono rapporti di avvolgimento maggiori per aumentare la sicurezza d' esercizio.

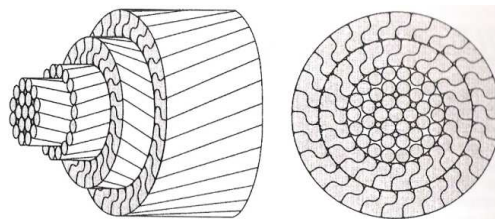



Figura 2.7 Fune chiusa

2.3 Scelta della fune

In accordo con la UNI ISO 4308/1

Diametro minimo della fune d si ricava mediante la relazione :

$$d = C\sqrt{S}$$

dove C è il fattore di selezione della fune
S è la forza di trazione massima della fune (N)

Per il calcolo di S si deve tener conto di :

1. carico di servizio nominale
2. peso organo di presa (compreso fune)
3. rendimenti meccanici organi

Il fattore C si ricava dalla relazione :

$$C = \sqrt{\frac{Zp}{K' R0}}$$

Ro è la sollecitazione a rottura del filo
Zp è un coefficiente pratico minimo di utilizzazione
K' è un fattore empirico di carico minimo di rottura

Carico minimo di rottura di una fune *Fo = S Zp*

Diametro tamburo : Il diametro minimo deve rispettare la relazione *D1 ≥ h1 d*
dove D1 è il diametro primitivo del tamburo
d è il diametro minimo della fune
h1 è un fattore di selezione per il tamburo ricavato dalla tabella

Valori empirici di K', fattore di forza nominale

Gruppo	Classe	Coefficienti per la forza minima dei cavi con anima di: tessile	acciaio
1	6 x 7	0,332	0,359
2	6 x 19	0,330	0,356
3	6 x 37		
4	8 x 19	0,293	0,346
5	8 x 37		
6	17 x 7	0,328	
7	34 x 7	0,318	
8	6 x 24	0,280	

Valori d Zp

Classe Meccanismo	Zp
M1	3,15
M2	3,35
M3	3,55
M4	4,0
M5	4,5
M6	5,6
M7	7,1
M8	9,0

Valori di h_1

Classe del Meccanismo	tamburi h_1
M1	11,2
M2	12,5
M3	14
M4	16,0
M5	18,0
M6	20,0
M7	22,4
M8	25,0

Figura 2.8 tabelle dei valori per la scelta della fune

3 Materiali

Le vergelle al carbonio sottoposte a trafilatura sono suddivise in tre grandi categorie a seconda del loro impiego regolate : Acciaio al carbonio da C42 a C88

Per acciaio con alta resistenza alla corrosione : X12 CrNi 17 7/ X5 CrNiMo 17 12 2/ X2 CrNiMo 17 12 2

Elementi costitutivi delle vergelle per costruzione di funi per il sollevamento di cose o persone:

Carbonio	[C]	0.45-0,9 %
Manganese	[Mn]	0,50-0,85 %
Silicio	[Si]	0.30 %
Zolfo	[S]	0,035 %
Fosforo	[P]	0,035 %
Rame	[Cu]	< 0.15 %
Azoto	[N]	< 70 ppm (parti per milione)
Rame + Stagno	[Cu+Sn]	<0,15 %

Per i trattamenti termici a cui la vergella deve essere sottoposta (laminazione, trafilatura) la sua struttura deve essere perlitica fine per conferire al materiale una buona attitudine alla deformazione plastica.

La quantità di elementi inquinanti presenti nell' acciaio di partenza sono stabilite da normative ben definite all' uso finale del materiale. Molta attenzione alla quantità massima di rame presente, inferiore allo 0,15%.

L' ossidazione del rame dovuta al riscaldamento delle billette prima della laminazione comporta l' arricchimento superficiale di Cu nell' acciaio. Il rame metallico allo stato liquido tende a concentrarsi nei grani riducendo sensibilmente la resistenza a fatica dei trafilati. Questo fenomeno non compare quando i livelli di rame sono minori dei valori indicati.

Figura 3.1 vergella in acciaio

Anime flessibili

Le anime flessibili possono essere di tipo metallico o sintetico.

Il materiale deve avere buona resistenza a compressione radiale (causata dai trefoli), buona resistenza agli sbalzi termici, agli agenti esterni, ai lubrificanti.

Solitamente viene impiegato polipropilene:

I vari monomeri si uniscono per apertura dei doppi legami partendo dall' etilene.

Il polipropilene (PP, anche: polipropene) è un polimero termoplastico che può mostrare diversa tatticità. Il prodotto più interessante dal punto di vista commerciale è quello isotattico.

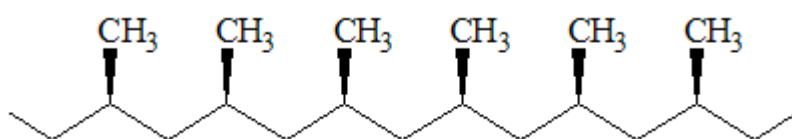



Figura 3.2 Struttura isotattica polipropilene

Polimero semicristallino caratterizzato da un elevato carico di rottura, una bassa densità, una buona resistenza termica e all'abrasione. La densità del polipropilene isotattico è di 900 kg/m³ e il punto di fusione è spesso oltre i 165 °C. Le proprietà chimiche, determinate in fase produzione, comprendono la stereoregolarità, la massa molecolare e l'indice di polidispersione.

LUBRIFICANTI IMPIEGATI NELLA COSTRUZIONE

Durante la realizzazione della fune viene introdotto il grasso necessario per la lubrificazione interna di quest’ ultima. Il lubrificante varia a seconda degli impieghi a cui la fune viene adibita.

La quantità iniziale di grasso che si applica è sempre maggiore di quello che la fune riesce a trattenere dopo la fase di assestamento. La quantità in eccesso fuoriuscendo andrà a ricoprire gli strati superficiali fungendo da protezione contro l’ ossidazione esterna.

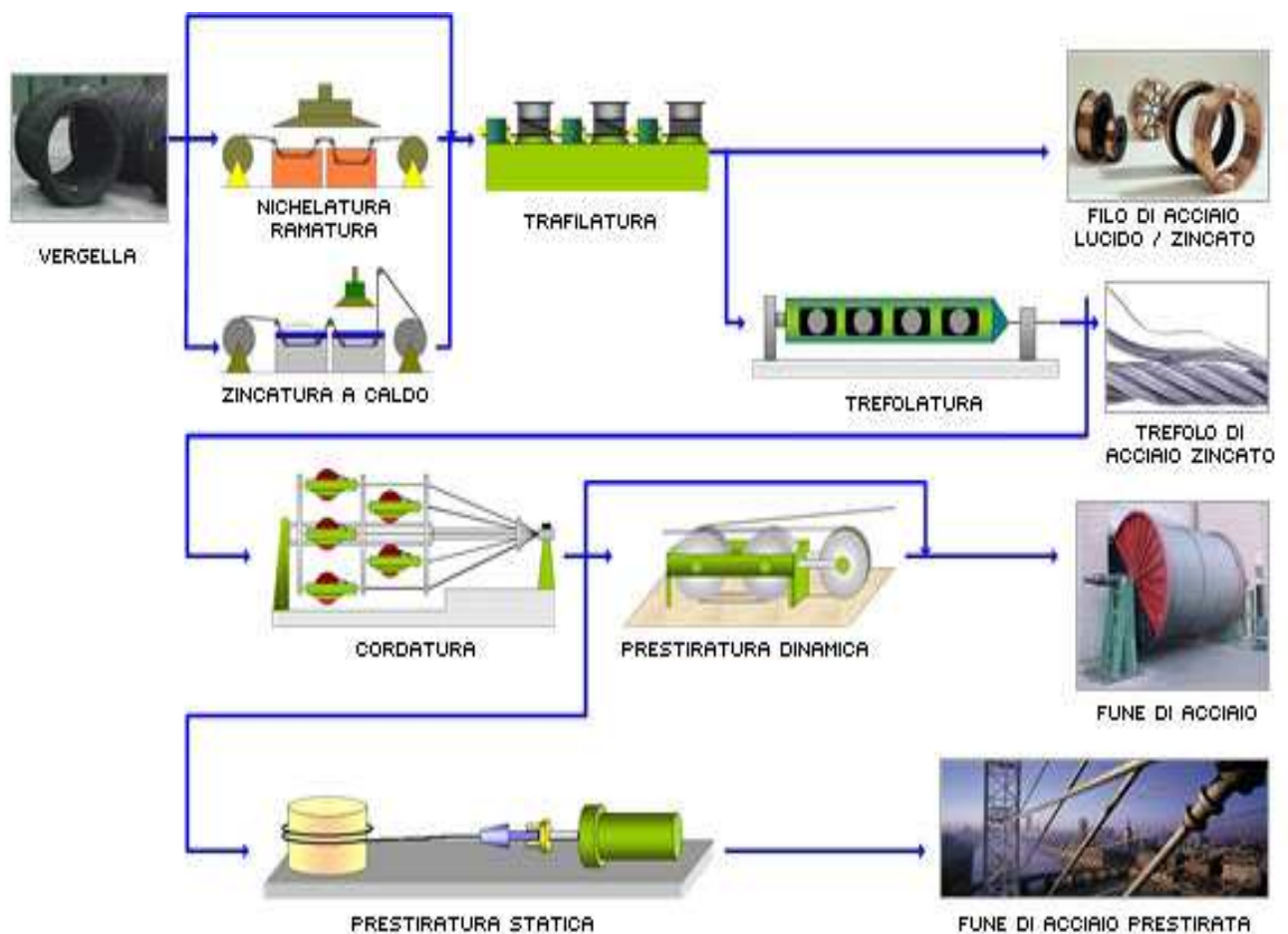
Per alcuni impieghi particolari non è consentita la fuoriuscita di grasso dalla fune durante la costruzione e per questo la lubrificazione in fabbrica viene effettuata mediante oli speciali che mantengono la superficie secca e pulita.

Figura 3.3 Esempio di olio utilizzato per la lubrificazione dei fili tondi del nucleo spiroidale nelle funi portanti

Figura 3.4 Esempio lubrificazione dell’ anima tessile nelle funi per movimentazione funivie

4 Processo produttivo

Il processo produttivo atto alla realizzazione di funi metalliche a trefoli è suddiviso in varie fasi :

a) Trafilatura del filo di partenza proveniente dalle vergelle
b) Lubrificazione del filo durante la trafilatura
c) Patentamento del filo
d) Zincatura
e) Trafilatura del filo zincato
f) Laminazione del filo sagomato
g) Trefolatura e cordatura

4.1 Trafilatura

Il processo di trafilatura è un processo di formatura che induce un cambiamento nella forma del materiale grezzo di partenza attraverso la deformazione plastica dovuta all'azione di forze impresse da attrezzature e matrici.

Nella lavorazione di trafilatura il filo subisce dei passaggi forzati attraverso delle matrici (filiere) con dei fori di diametro progressivamente decrescente che ne riducono la sezione.

Il volume del filo rimane costante dal momento che la trafilatura è un processo senza asportazione di materiale; con la riduzione diametrale ottengo l'incremento della sua lunghezza.

Il filo da lavorare viene fatto passare attraverso la prima filiera dopo aver subito una riduzione all'estremità da infilare. Tale estremità è resa conica da un'operazione di *swagging* (formatura a martellamento rotante) oppure, nel caso di microfili, da una rottura a trazione in corrispondenza della zona di strizione. Dopo il passaggio nella prima filiera, segue l'analogo inserimento in tutte le filiere successive.

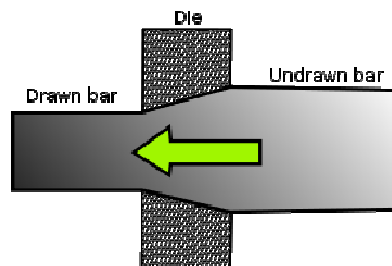



Figura 4.1 Schematizzazione filiera

Le filiere di trafilatura sono composte di tre parti:

1. un inserto molto resistente che costituisce l'utensile vero e proprio. I materiali usati sono acciai alto legati, carburi sinterizzati oppure, per velocità più elevate, leghe dure o diamante naturale monocristallo o sintetico (policristallino PCD o monocristallo),
   L'inserto presenta una resistenza all'usura e all'urto.
2. un supporto di rinforzo per sostenere l'inserto.
3. un telaio cilindrico in acciaio, che contiene le altre due parti. La sua altezza è in funzione della dimensione dell'inserto e il suo diametro in funzione del portafiliere dell'impianto di trafilatura (standardizzato per consentire l'intercambiabilità delle filiere nei vari impianti). Il telaio permette di supportare lo sforzo assiale che subisce l'inserto durante la trafilatura, di dissipare il calore che si genera per attrito durante il passaggio del filo e di prolungare il cono di entrata dell'inserto per favorire l'ingresso del lubrificante nel foro.

Il processo di trafilatura possiede le stesse peculiarità generali della formatura, ossia è:

- efficiente (realizza un tasso di produttività elevato);
- accurato (i prodotti finali hanno tolleranze ristrette, ottime finiture superficiali e la sezione desiderata);
- eccellente nelle proprietà meccaniche-elettriche del prodotto finale;
- economico ed ecologico grazie alle matrici e agli utensili multiuso, alla manodopera non necessariamente qualificata ed allo scarto minimo di materiale.

La trafilatura, in base alle classificazioni dei processi di deformazione, appartiene ai:

- processi di formatura massiva
- processi a freddo perché usualmente non viene effettuato un pre-riscaldamento del filo iniziale;
- processi di lavorazione secondaria perché trasforma i prodotti di lavorazione primaria (forgiati, laminati, estrusi, trafilati) in prodotti finiti o semi-finiti.

Paragonata alle altre tecniche di formatura massiva, la trafilatura è simile all'*estrusione* a differenza che nell'estrusione il pezzo in lavorazione è sottoposto a forze di compressione mentre nella trafilatura a forze di trazione, e che nell'estrusione l'attrito si manifesta nella matrice e nel contenitore della preforma di partenza invece nella trafilatura solo nella matrice; però entrambe sono tecniche di deformazione senza superfici libere.

La temperatura del filo aumenta durante la lavorazione a causa dell'attrito, dello slittamento sugli anelli e dell'elevata velocità a cui viene trafilato. L'uso di un lubrificante adeguato è indispensabile per ridurre l'attrito, per attenuare il riscaldamento del filo,per diminuire l'usura delle filiere e per evitare l'asportazione di materiale o del rivestimento dal filo.

In seguito ai molteplici passi di trafilatura, il filo incrudito subisce una ricottura per ripristinare le proprietà meccaniche ed elettriche di partenza.

Il processo di trafilatura conferisce al filo un aumento della resistenza a trazione (180-230 daN/mm^2) entro certi limiti che non devono andare a discapito della resistenza a piegamento.

Anche in questo procedimento intervengono apposite normative di collaudo che stabiliscono stretti intervalli nelle prestazioni di resistenza a trazione.

Le macchine trafilatrici sono classificate secondo diversi criteri.
Il primo criterio si basa sul diametro finale del filo lavorato: in commercio ci sono “sbozzatori” per fili da 4 mm a 1 mm di diametro a partire da una vergella, macchine “intermedie” per fili da 2 mm a 0.5 mm di diametro con un filo di partenza di circa 4 mm, macchine “per fili sottili” da 0.5 mm a 0.15 mm di diametro con un diametro di partenza di circa 2 mm ed infine macchine “per fili capillari” da 0.15 mm a 0.05 mm di diametro con un diametro di partenza di circa 1.5 mm.
Il secondo criterio è quello del numero di fili lavorati contemporaneamente: se il filo è singolo la macchina è detta *monofilo*, se i fili sono più di uno è *multifilo*.

Il terzo criterio è basato sulla tecnica di avanzamento dei fili, che può essere a slittamento sugli anelli o non a slittamento. Le macchine senza slittamento sono dotate di un cabestano e di anelli motorizzati che ruotano ad una velocità periferica uguale a quella del filo in uscita dalla filiera. La velocità è variabile e regolata attraverso appositi sistemi.

Foto 4.2 Impianto di trafilatura

4.2 Lubrificazione durante la trafilatura

La lubrificazione è indispensabile nella trafilatura: durante la lavorazione la superficie del filo è ricoperta da un lubrificante, scelto a seconda delle caratteristiche di resistenza ed attrito dei materiali a contatto. Un comune lubrificante è il sapone ed un altro molto usato è l'emulsione: olio emulsionato con una percentuale dell'1-2% di acqua.
Il lubrificante arriva a contatto delle spire dei fili capillari e sottili per caduta dai numerosi ugelli di un condotto situato sopra ad ogni serie di anelli. Ulteriori ugelli sono posti prima di ogni filiera e, spruzzandovi contro, permettono al lubrificante di accompagnare il filo nella matrice (facilitato dalla zona di entrata del profilo).

Le ultime filiere prima del cabestano sono le meno lubrificate dato che sono posizionate sulla parete che divide l'impianto di trafilatura dal forno di ricottura e quindi sono bagnate solo da un lato. Il maggior numero di rotture avviene in queste ultime filiere a causa dell'attrito eccessivo, dell'accumulo di polverino in uscita e quindi del danneggiamento dell'inserto della filiera o della superficie del filo (nei fili sottili e capillari il rapporto tra la superficie ed il volume è molto elevato quindi avviene la rottura).

Il lubrificante può anche essere solido per fili ad alta resistenza (in acciaio, in acciaio inossidabile, in lega alto legata): viene fatto aderire sotto forma di un rivestimento di metallo più tenero, ad esempio di rame o di stagno, depositato chimicamente sulla superficie.

Nelle macchine con coni di trafilatura monofilo, i coni e le filiere sono completamente immersi nel lubrificante liquido che può essere olio o emulsione (contenente additivi grassi o clorurati oppure altri composti chimici).
Non ci sono macchine trafilatrici che lavorano a secco: l'attrito eccessivo porterebbe al surriscaldamento del filo, ad un'usura precoce delle filiere e della superficie del filo e per di più ad un'alterazione delle proprietà del trafilato che, se in rame, verrebbe quasi ricotto e ossidato. Con una lavorazione a secco si arriverebbe alla rottura del filo in brevissimo tempo.

Per concludere i lubrificanti sono tenuti a svolgere le seguenti funzioni:

- lubrificare,
- raffreddare,
- detergere,

4.3 Patentamento del filo

Trattamento di tempra "blanda" che si realizza raffreddando il pezzo, dopo l'austenitizzazione, a una temperatura superiore a M_s *(inizio formazione martensite)* e notevolmente inferiore ad A_{cl} (trasformazione della perlite in austenite) in un bagno di piombo fuso. Si mantiene a tale temperatura (intorno ai 550°C) per il tempo sufficiente a completare la trasformazione nelle strutture desiderate, favorevoli alle lavorazioni di deformazioni a freddo. L'omogeneità strutturale é la caratteristica principale di questo trattamento: ottenere una struttura omogenea di tipo perlitico fine, come risulta anche dall'analisi dei diagrammi TTT. Sullo stato strutturale finale del metallo hanno grandissima importanza i parametri di processo, vale a dire tutte quelle variabili che entrano in gioco nel trattamento termico: temperatura di trasformazione di fase, velocità di raffreddamento, dimensioni del grano della struttura di partenza. Raffreddando troppo lentamente oppure innalzando eccessivamente la temperatura di trasformazione, accanto alla perlite si ottiene della ferrite indesiderata, che comporta un abbassamento della resistenza agli sforzi. Quanto più bassa é la temperatura di trasformazione di fase nel campo di formazione della perlite, più fine é la microstruttura risultante.

Ciclo termico:

a) I fili smatassati vengono introdotti in forni e riscaldati fino alla T di 900-950 °C (appena sopra A_{c3})
b) Raffreddamento rapido in bagno di piombo fuso finl alla T di 500-550 °C (zona perlitica)
c) Permanenza isotermica fino a fine trasformazione completa dell' austenite in perlite.

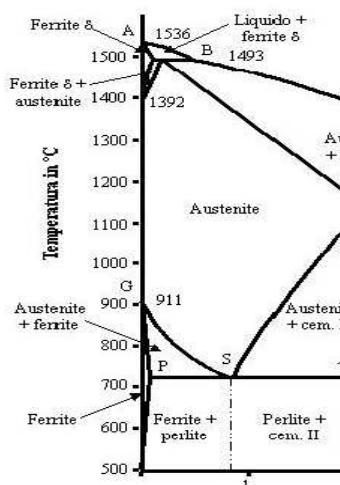
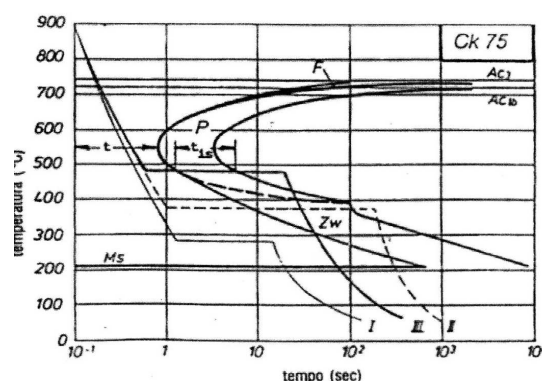



Foto 4.3 parte del diagramma Fe-C Curve TTT

4.4 Zincatura

La zincatura è il processo con cui viene applicato un rivestimento di zinco su un manufatto metallico generalmente di acciaio per proteggerlo dalla corrosione galvanica: esso infatti limita la formazione di micro-celle elettrolitiche ad azione anodica nei bordi di grano.

Fasi del processo di zincatura :

- Decapaggio e sgrassaggio: ottenuti con HCl e tensioattivi a temperatura ambiente;
- Flussaggio: immersione in soluzione di ammonio cloruro e zinco cloruro;
- Zincatura: immersione, previo preriscaldo a 100°, in vasca di zinco fuso a 455° per il tempo necessario che l'acciaio raggiunga la stessa temperatura dello zinco.

Nel caso specifico dei fili impiegati nella realizzazione di funi metalliche viene utilizzata la zincatura a caldo continua. Il materiale viene srotolato, introdotto in un forno che lo porta a una temperatura uniforme ed infine fatto passare per una vasca contenente zinco fuso. La vasca può essere riscaldata in vari modi: con le resistenze elettriche, con una cappa e la fiamma a contatto dello zinco oppure con dei bruciatori immersi.

Questo metodo è preferito alla zincatura elettrolitica in quanto consente di lavorare grandi quantità di materiale in modo continuo,economica, assicura una ricopertura completa del filo e inoltre lo zinco fuso trovandosi a una temperatura di 450°C lega con il ferro superficiale del filo creando una lega Fe-Zn.

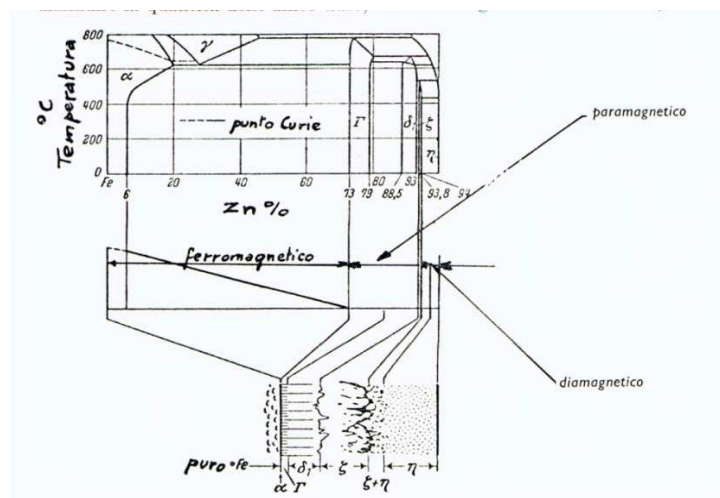



Figura 4.4 Diagramma Ferro Zinco

Questa lega (possibile solamente a T maggiori di quella di fusione della Zn) non è quindi presente in oggetti rivestiti elettroliticamente e presenta 3 strati differenti.

a) Quella più vicina al ferro è estremamente sottile ed è un composto da 20-27% di ferro (Fe_5Zn_{21}, con cristallizzazione cubica gamma, dura e brillante).
b) La lega intermedia con un contenuto in ferro da 7 a 11% ($FeZn_{10}$, con struttura cristallina esagonale; la diffusione di questo strato è molto rapida con il risultato che il suo spessore è molto più sottile della lega precedente) ha una struttura di considerevole duttilità.
c) L' ultimo strato ha un contenuto da 5,75 a 6,25% di ferro nello zinco e la sua composizione è monoclina, formata da cristalli monoclini. Attraverso ad essa la diffusione del ferro nello zinco è lenta e con essa si può terminare l' azione dissolvente dello zinco sul ferro.

Fase	Formula	Contenuto Fe (in peso)	Struttura cristallografica	Densità (g/cm)
Eta	*Zn*	max 0,003	Esagonale a corpo centrato	7,14
Zeta	$FeZn_{13}$	5,7-6,3	Monoclina	7,18
Delta	$FeZn_{10}$	7,0-11,5	Esagonale a corpo centrato	7,24
Gamma	Fe_5Zn_{21}	21,0-28,0	Cubica a facce centrate	7,36

Figura 4.5 Leghe Ferro-Zinco

Vantaggi della zincatura sui fili in acciaio :

a) Resistenza all’ abrasione
b) Resistenza alla corrosione
c) Protezione integrale dei pezzi
d) Interventi di manutenzione nulli
e) Resistenza meccanica elevata
f) Durata eccezionale

4.5 Trafilatura del filo zincato

La trafilatura del filo zincato è un' operazione necessaria per riconferire al materiale di cui è composto determinate proprietà meccaniche che sono decadute nella fase di zincatura.

La trafilatura comporta una diminuzione del materiale di rivestimento proporzionale alla riduzione subita dal diametro del filo. Perciò è molto importante definire la quantità di rivestimento a priori per ottenere un prodotto finito che soddisfi le esigenze per cui è costruito.

Lo strato esterno di rivestimento del filo è costituito da zinco puro, si potrebbe pensare quindi che durante le fasi di ritrafilatura esso possa staccarsi lasciando scoperto il materiale sottostante. Nella pratica si nota che questo fenomeno non avviene grazie all' ottima aderenza che lo Zn possiede.

4.6 Laminazione del filo sagomato

Quando siamo in presenza di fili sagomati a Z esso non può essere trafilato ma laminato.

Si parte dalle vergelle a sezione circolare, successivamente si passa su 4 batterie di rulli contrapposti a gola profilata.

Nel primo passaggio il filo subisce una variazione di sezione da circolare a losanga per poi arrivare alla forma voluta nei passaggi successivi.

La geometria finale del filo è imposta dal tipo di fune che si vuole realizzare ed è influenzata quindi dal diametro e numero di fili del manto.

4.7 Trefolatura e cordatura

L' operazione finale che porta alla vera e propria formazione della fune. Il passo dei fili nel trefolo è ottenuto dalla combinazione dei moti di rotazione del telaio della macchina e dell' avanzamento del trefolo.

Parametri fondamentali nella realizzazione di trefoli per la buona riuscita di una fune sono :

- La perfetta regolazione della frenatura dei vari fili
- La pressione esercitata dalla trafila sul trefolo in formazione
- Regolazione del gruppo post formatore

Le trefolatrici sono equipaggiate da un gruppo di tiro del trefolo e di un avvolgimento di raccolta.

Come ultimo trattamento viene effettuata una prestiratura della fune utile per eliminare l' allungamento permanente. Prima di essere avvolta su bobine la fune viene sottoposta a trazione con un' intensità del carico pari al 50 % del suo carico di rottura. Questa operazione consente un assestamento preliminare dei trefoli sull' anima.

Figura 4.6 Trefolatrice

5 Principali difetti nelle funi

Le funi metalliche durante il loro utilizzo, come tutti gli elementi meccanici , subiscono il degrado della propria struttura. La velocità di daneggiamento è maggiore nell' immediato periodo di utilizzo (fase di assestamento), si stabilizza per un perido intermedio e accelera nel periodo finale della propria vita

Danneggiamento dei materiali

Velocità danneggiamento

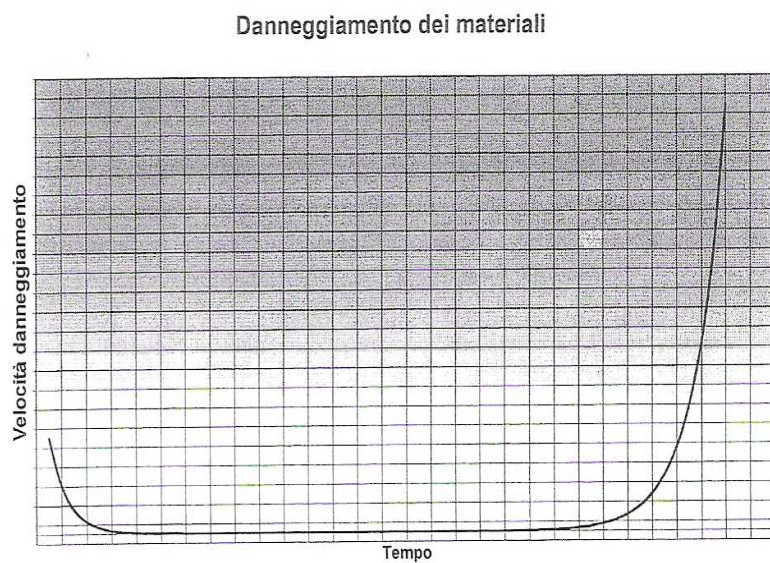
Tempo

utile.

Figura 5.1 diagramma danneggiamento

I principali danneggiamenti subiti dalle funi si possono classificare in :

a) **Difetti di costruzione**
b) **Fattori accidentali e di esercizio**
c) **Corrosione**
d) **Fatica**
e) **Usura**
f) Riscaldamento

5.1 Difetti di costruzione

Sono quelle anomalie causate dalla presenza di scorie nelle materie prime, imperfezioni generate da errate operazioni nel decapaggio (comparsa di micro cricche superficiali) o dall' errato processo di cordatura. Di rilievo sono anche eventuali difetti provocati da trattamenti termici preliminari (patentamento) che se mal eseguiti possono ridurre le caratteristiche meccaniche del materiale.

5.2 Fattori accidentali di esercizio

Sono tutti quei danni che la fune subisce durante il montaggio o l' errato maneggio. L' errato srotolamento delle funi dalle bobine di trasporto, poca accuratezza durante il montaggio possono generare asole nella fune. Quando si applica il carico alla fune, le asole, sottoposte a trazione, producono deformazioni permanenti che riducono la resistenza di quest' ultima.

Altri danni possono verificarsi nella messa in tensione della fune. Strisciamenti a terra, allentamento dei morsetti di aggancio, passaggio nelle pulegge, scarrucolamenti, impuntamenti dei morsetti d' aggancio con altri elementi possono rovinare o portare fuori posizione i fili della fune.

Da non trascurare sono anche i danni accidentali scaturiti da agenti atmosferici. Scariche elettriche atmosferiche (fulmini) possono generare sovratensioni nelle funi metalliche tali da provocare una serie di riscaldamenti localizzati del materiale. Gli effetti di questo riscaldamento possono essere : fusione del metallo, modifica della struttura metallografica, alterazione della sezione o superficie della fune.

I danni prodotti da questo fenomeno (soprattutto in ambito funiviario) sono talmente gravi che normative in materia prevedono che le funi siano direttamente collegate a terra. I dispersori, conduttori a terra e giunzioni devono soddisfare le disposizioni CEI.

5.3 Corrosione

La struttura di una fune prevede numerosi spazi tra i fili e trefoli. Queste cavità spesso vengono occupate da impurità, umidità o acqua. Queste sono le condizioni ideali per la generazione di effetti corrosivi. Il fenomeno è accelerato dalla presenza di sali o prodotti acidi. L' unica difesa a questo fenomeno è l' utilizzo di opportuni lubrificanti inseriti in ogni strato della fune accompagnati da una lubrificazione esterna periodica nel tempo.

Anche le anime tessili di origine vegetale, con il passare del tempo, perdono il grasso (espulso dalle azioni trasversali dei trefoli) e necessitano di rilubrificazione periodica per evitare che l’ anima si secchi accelerando la corrosione nella zona di contatto con i trefoli.

Altri fenomeni che rientrano nella categoria di danni da corrosione sono :

- **Tensocorrosione :** accentuazione dell’ effetto corrosivo per effetto delle forze di trazione a cui i fili sono sottoposti.
- **Fretting corrosion :** o corrosione secca, generata dallo strisciamento relativo tra i fili sottoposti ad elevate pressioni superficiali. In questo caso il ferro si trasforma in ossido producendo scorie abrasive che alimentano il fenomeno.

5.4 Fatica

Gli effetti affaticanti sulle funi sono causati da tutte quelle azioni, esterne alla trazione, a cui è sottoposta durante il normale esercizio. Il continuo arrotolamento, srotolamento su pulegge, rulli carrelliere, il variare del carico a cui la fune è sottoposta sono tutte cause di principi affaticanti sui fili metallici.

Norme specifiche in materia fissano i raggi di curvatura minima da rispettare per le pulegge, rulli e di qualsiasi elemento a cui la fune potrebbe avvolgersi. Altre indicazioni limitano i carichi trasversali massimi da applicare alla fune per ridurre la flessione / deformazione localizzata.

5.5 Usura

Tutte le funi in esercizio sono soggette a usura. Le cause sono molteplici e sono quasi sempre provocate dal moto relativo tra la fune e altri elementi (rulli pulegge, carrelli ecc). Fenomeni di usura superficiale spesso nascono da cause accidentali. Nel caso la fune debba essere frenata da tamburi (progettati solitamente in bronzo per non rovinare i fili superficiali) per un tempo prolungato può portare alla comparsa di tracce sulla sua superficie. Un’ eccessiva torsione della fune può generare una coppia tale da vincere il momento generato dalle forze d’ attrito nelle ganasce provocando una vera e propria fresatura dei fili.

5.6 Riscaldamento

Eventuali fiamme possono svilupparsi nell' impianto di sollevamento. Nelle funi controllate, avvolte dalle fiamme, si è riscontrata una diminuzione sensibile della resistenza a trazione dei fili. Essendo pochissimi i casi di cedimenti strutturali delle funi per incendio, non vengono effettuati controlli specifici in materia.

FUNI ANIMA FIBRE	
TEMPERATURE	% CAP. CARICO MANTENUTA
-40<T<100	100
T>100	NON AMMESSA
FUNI ANIMA ACCIAIO	
TEMPERATURE	% CAP. CARICO MANTENUTA
-40<T<100	100
100<T<200	90
200<T<300	75
300<T<400	65
T>400	NON AMMESSA

Figura 5.1 Tabella temperature d' esercizio consentite

5.7 Alcune immagini di manifestazione del danno sulle funi.

1) Rottura e spostamento di fili su due trefoli adiacenti su una fune ad avvolgimento crociato. Tale condizione richiede la sostituzione.
2) Grave usura e notevole numero di fili rotti in una fune ad avvolgimento crociato. Tale condizione richiede la immediata sostituzione
3) Fili rotti su uno stesso trefolo, unitamente a lieve usura, ad una fune ad avvolgimento parallelo. Tale condizione richiede la asportazione dei fili danneggiati, affinché l' estremità sia a raso del profilo esterno della fune
4) Fili rotti in numerosi trefoli. Necessita la sostituzione della fune.
5) Fili rotti in due trefoli per fatica a flessione. Questa condizione richiede l' immediata sostituzione
6) Deformazione a canestro di una fune multitrefoli causata da una rotazione forzata per gole troppo strette o angolo di deviazione eccessivo. Tale condizione richiede l' immediata sostituzione.
7) Espulsione dell' anima metallica solitamente associata a una deformazione a canestr. Tale condizione richiede l' immediata sostituzione.
8) Un solo trefolo è interessato dall' espulsione di fili. Occorre tenere sotto controllo tale difetto

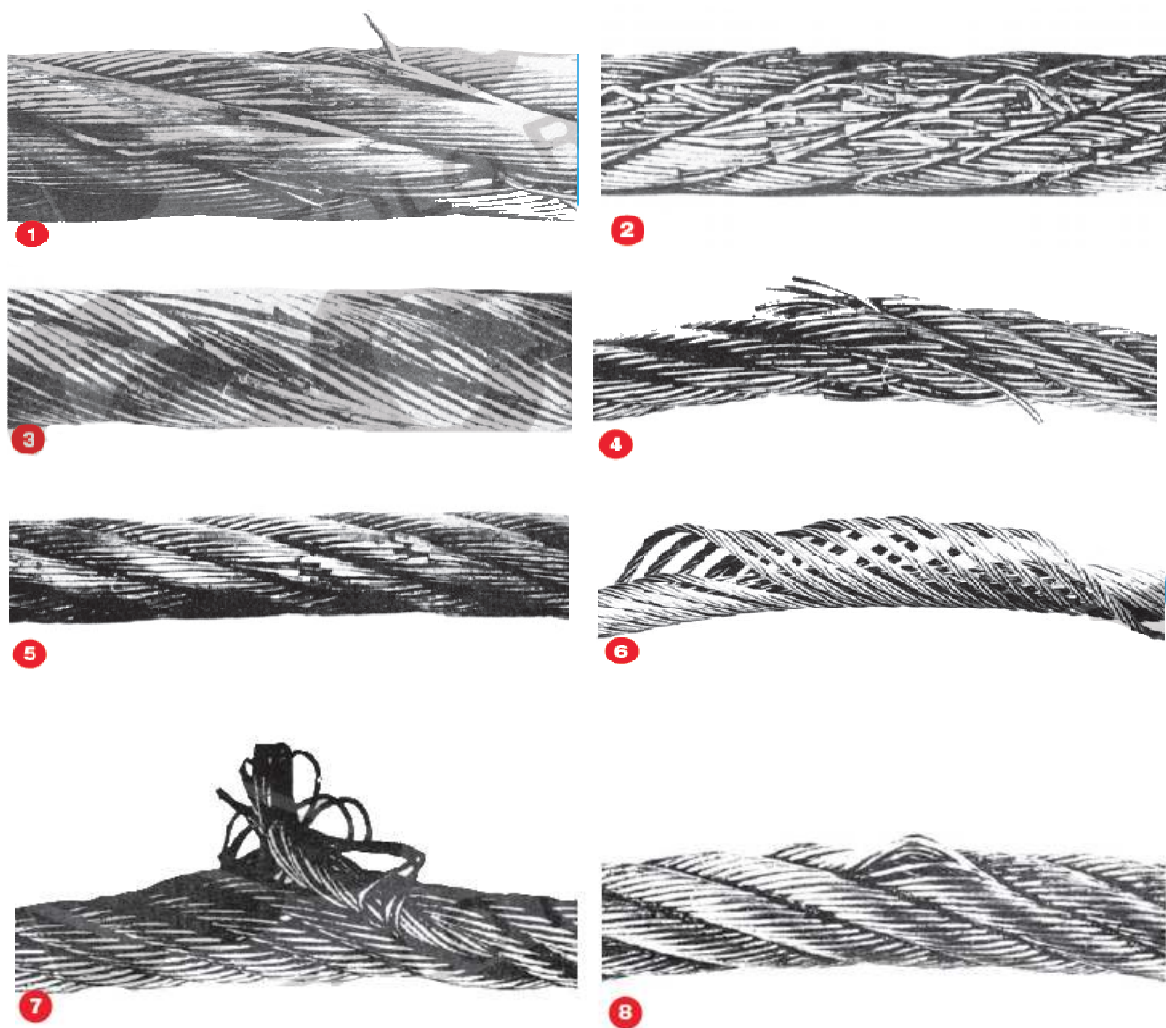



Figura 5.2 Rappresentazione tipologie di danno sulle funi

6 Controlli non distruttivi

Gli impianti a fune sono sottoposti a revisioni o controlli periodici, in base a scadenze dettate dalla normativa vigente, volti ad accertarne il corretto funzionamento ed il permanere delle condizioni di sicurezza.
Durante tali revisioni si esegue un' accurata verifica degli organi principali dell' impianto : particolare attenzione aspetta agli organi della cui la rottura può essere compromessa la sicurezza dei passeggeri trasportati, lavoratori o persone nelle vicinanze, organi che vengono sottoposti a controlli non distruttivi per l' analisi di stato e conservazione.
Per quanto riguarda le funi, in particolare, vi sono vari fattori che possono concorrere al loro danneggiamento , tra questi vanno distinti quelli che avvengono esternamente o internamente ad esse.
Il degrado della fune può essere principalmente rilevato andando a misurare la perdita di materiale metallico nella sezione retta della fune, prendendo in considerazione quanto previsto dalla norma in vigore.
Le verifiche delle funi portanti-traenti, portanti, traenti, zavorra e soccorso vengono effettuate tipicamente durante il periodo di interruzione del servizio degli impianti di risalita e nel caso di funi adibite al sollevamento cose, il controllo viene eseguito prima di eseguire il lavoro.Le funi devono essere tolte d' opera quando, dalle indagini, risulti una riduzione complessiva della resistenza, riferita a quella iniziale con fune nuova, superiori ai valori previsti (es. Per funi portanti, 10% per le funi in opera da meno di 20 anni, 6% per funi in opera da più di 20 anni.).
La valutazione di riduzione di resistenza iniziale della fune viene effettuata sulla base della riduzione convenzionale della sezione metallica, differenziata tra quella generata da fili rotti, riduzione del diametro, abrasioni.
Malgrado le indicazioni normative, non esiste un criterio rigoroso che determini senza margine d' errore le condizioni per sostituire le funi ; molto spesso vengono tolte dall' esercizio funi con buoni margini di utilizzo, altre volte vengono giudicate valide funi al limite della vita utile. In mancanza di un criterio deterministico è necessario affidarsi all' esperienza di chi esamina la fune e all' accuratezza con la quale l' esame viene condotto.
Possono essere usati diversi tipi di esami non distruttivi per verificare lo stato dei componenti dell' impianto e delle funi, ma soltanto alcuni di essi, oltre analizzati, forniscono risultati pratici degni di nota. I semplice controllo visivo può dare risultati soddisfacenti solo per funi di piccolo diametro, mentre per funi

di diametro relativamente maggiore, si rende necessario l' ausilio di uno strumento che permetta d' indagare lo stato dei fili anche all' interno delle funi stesse.

Negli ultimi anni si è assistito a una continua estensione dei campi di utilizzo delle funi metalliche, le quali, prevalentemente utilizzate per impianti di risalita, ascensori e gru, ora stanno trovando applicazione anche nei sistemi di trasporto non convenzionali di derivazione funiviaria. In tali mezzi di trasporto, è in particolare necessario il ricorso a strumenti di monitoraggio automatico della fune essendo questa tipicamente in esercizio continuativo, a velocità peraltro spesso costanti e sostenute di circa 10 m/s.
Questi strumenti offrono analisi elettromagnetiche, analisi non distruttive, che consentono, grazie all' impiego di campi magnetici alternati o continui, di ottenere informazioni sullo stato della fune esaminata.

6.1 Ispezione visiva

Un tecnico qualificato avvolge uno straccio o un panno in cotone attorno alla fune mentre essa è in movimento. Eventuali fili metallici rotti nello strato superficiale impigliandosi nel tessuto segnalano all' osservatore il difetto. A questo punto l' impianto viene fermato e la fune subisce un controllo molto accurato. Successivamente si esegue il controllo del diametro della fune.
Viene misurata mediante un calibro la sezione della fune che viene comparato con il diametro iniziale (nuova e sotto carico). Eventuali differenze sono indice di difetti a uno o più fili che la compongono.

I vantaggi di questo metodo sono la semplicità, la velocità di controllo e i bassi costi. Di contro l' ispezione visiva non può garantire un controllo accurato non rilevando fili rotti negli strati interni, o ricoperti da eventale grasso.

(il metodo corretto di misura le tolleranze sono quelle indicate precedentemente).

Figura 6.1 Misurazione diametro della fune.

Altri controlli visivi aggiuntivi utilizzati sono il controllo interno della fune.

L'esperienza nel settore dei controlli delle funi dimostra che il deterioramento interno e il processo di fatica della fune, sono le cause principali delle numerose rotture impreviste. Un normale controllo visivo esterno, può non bastare per rilevare il danneggiamento interno. Il metodo di verifica interna consiste nel:

1) Fissare saldamente alla fune due morsetti di dimensioni opportune e posti ad una distanza conveniente l'uno dall'altro;

2) Applicando una forza sui morsetti, in senso opposto all'avvolgimento dei trefoli, i trefoli esterni si separano e si allontanano dall'anima della fune;

3)

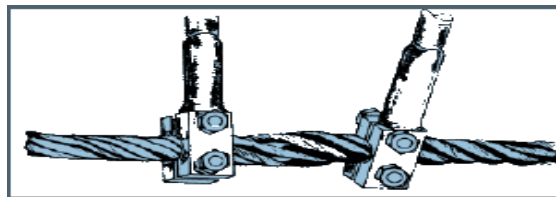



Figura 6.2 installazione morsetti sulla fune

4) bisogna fare attenzione che i morsetti non slittino sull'esterno della fune e che i trefoli non devono essere scostati eccessivamente;

5) Quando si è ottenuta una modesta apertura, si può utilizzare una sonda per rimuovere il grasso o frammenti che potrebbero ostacolare l'esame della fune;

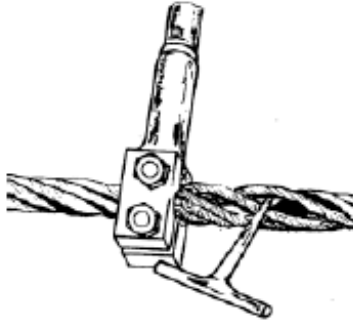



Figura 6.3 Apertura della fune

6) I punti essenziali da controllare sono:

a) lo stato di lubrificazione interna;

b) il grado di corrosione;

c) l'intacco dei fili causato da pressione e di usura;

d) la presenza di fili rotti.

7) Una volta finito il controllo interno, lubrificare la parte interna della sezione aperta;

8) Esercitare una rotazione dei morsetti, assicurandosi che il riposizionamento dei trefoli intorno all'anima della fune sia avvenuto in modo corretto;

9) Dopo la rimozione dei morsetti, la superficie esterna della fune deve essere normalmente ingrassata.

Questo metodo di verifica come detto prima può essere svolto solamente da persoanle che abbia frequentato dei corsi di apprendimento specifici e che sia ritenuto idoneo per svolgere la professione. È immediato accorgersi che eventuali errori di valutazione sono inevitabili data la soggettività di interpretazione e identificazione. Anche la velocità di controllo è piuttosto lenta e in funzione dell' osservatore. Nelle norme indicate successivamente verranno esposte le modalità di analisi del personale da ritenere idoneo.

6.2 Metodo magnetoinduttivo

Il metodo di prova magneto-induttivo delle funi d’ acciaio è definito comunemente come un metodo di controllo sia interno che esterno delle funi, in particolare interno visto che l’ esame visivo esterno è sempre possibile mentre il visivo interno è fattibile solo a seguito dell’ apertura della fune.

6.2.1 Principio di funzionamento

Il metodo si basa sul principio di magnetizzazione della fune, grazie all’ impiego di campi magnetici continui o alternati a cui fanno riscontro in corrispondenza di discontinuità o variazioni di permeabilità magnetiche presenti nella fune, distorsioni del campo e del flusso (flusso disperso) di intensità sufficiente per essere rilevate.
La possibilità di indurre un flusso magnetico nell’ elemento di prova è consentito dalle proprietà ferromagnetiche proprie del materiale dell’ elemento stesso.
La caratteristica dei materiali ferromagnetici è quella di lasciarsi magnetizzare.
La particolarità di questi materiali è il possedere numerose regioni (domini magnetici) in cui i campi magnetici dei singoli atomi risultano essere allineati.

In un materiale smagnetizzato l’ orientamento di ogni dominio è puramente casuale fino a quando, mediante la presenza di una corrente elettrica o un campo magnetico esterno questi domini si allineano tutti generando una magnetizzazione macroscopica del materiale.

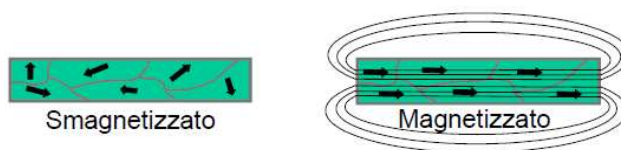



Figura 6.4 IL flusso magnetico

I materiali ferromagnetici vantano determinate caratteristiche :

a) Possono essere fortemente magnetizzati
b) Vengono fortemente attratti dai campi magnetici
c) Cambiano leggermente la loro forma durante la magnetizzazione.

Ne fanno parte : Cr, Mn, Fe, Co, Ni le relative leghe, i lantanidi ecc…

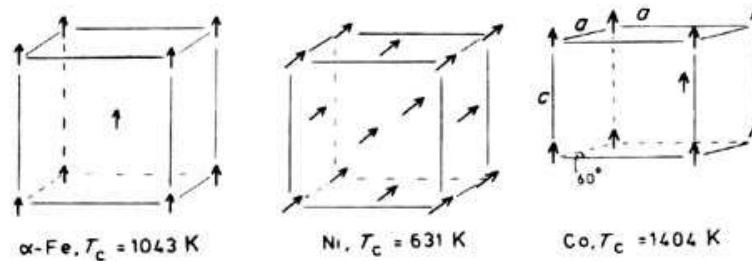
Questi materiali presentano una direzione preferenziale di magnetizzazione.
Si parla di anisotropia magneto cristallina come dell'energia necessaria per spostare la magnetizzazione rispetto alla direzione preferenziale.

Ferromagnetic ordering in *bcc* α-Fe, *fcc* Ni and *hcp* Co

Figura 6.5

I test magnetoinduttivi utilizzati attualmente sono di due tipi e permettono di misurare il flusso disperso o il flusso principale e prendono il nome di :

- Analisi del campo disperso (Localized-Flaw inspection) : LF
- Misura della sezione persa (Loss of metallic Cross sectional area) : LMA

6.2.1.1 Analisi del campo disperso (LF)

É la tecnica più diffusa e si basa sulla rilevazione del flusso disperso a cui è sempre associata una variazione del campo magnetico convertita dal rilevatore in un segnale elettrico proporzionale alla discontinuità stessa nella fune. Quindi se nelle immediate vicinanze del tratto di una fune che interessa esaminare si genera un campo magnetico longitudinale tale da indurre nella fune un flusso avente direzione parallela all' asse della fune medesima, le linee di flusso si manterranno rettilinee e parallele nei tratti compresi tra sezioni adiacenti di fune che siano tra loro equivalenti dal punti di vista magnetico talché l' induzione magnetica rimanga invariata. Qualora invece, due sezioni adiacenti differiscano tra di loro, le linee di flusso assumeranno densità diversa a monte e a valle delle sezioni considerate, sicché tra queste si avrà un tratto di raccordo in corrispondenza del quale esse non saranno più parallele né, tanto meno, rettilinee.

Questo metodo può fornire un' informazione qualitativa del difetto come ad esempio : rottura singola, multipla, corrosione di un tratto, fatica usura ecc.. Per contro non permette di fornire l' intensità del danneggiamento.

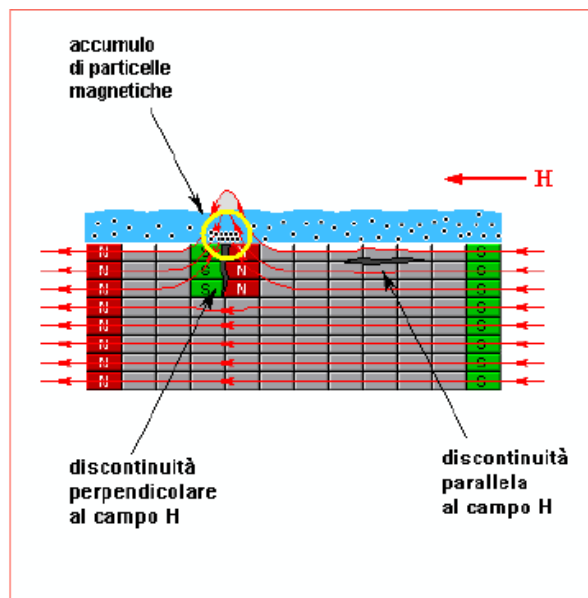



Figura 6.6 Deviazione del flusso magnetico

6.2.1.2 Misura della sezione (LMA)

Si misura il flusso magnetico indotto che attraversa perpendicolarmente la sezione della fune allo scopo di ottenere una grandezza (può essere il flusso stesso o una grandezza ad esso collegata) la quale possa fornire attraverso elaborazioni la misura della sezione metallica in quel punto.
Questo metodo sfrutta il principio di conservazione delle caratteristiche elettromagnetiche del materiale che costituisce la fune.
Ogni tipo di danno è ottenuto mettendolo in relazione con una "variazione di sezione" netta cioè ad una variazione di sezione magneticamente attiva.
Tal metodo fornisce solamente una indicazione quantitativa del danno rilevato e non qualitativa. Perciò la variazione di sezione rilevata (esempio diminuzione) può corrispondere a un qualsiasi tipo di difetto tipico delle funi. Perciò il metodo non è appropriato per determinare con certezza la tipologia di danno e non può fornire informazioni sulla possibile continuità di esercizio o necessità di sostituzione della fune stessa.

É comunque un' informazione aggiuntiva alla quantificazione della portata meccanica residua della fune e perciò gli apparecchi moderni di controllo sono dotati anche di questa tipologia di misura oltre alla ormai consolidata misura LF.

6.2.2 elementi essenziali per la validità del principio generale

Per entrambi i metodi di rivelazione del flusso magnetico indotto (LMA, LF) gli elementi in grado di sfruttare i principi del metodo sono i medesimi. Un dispositivo di controllo che per definizione sfrutta il metodo magnetoinduttivo necessità perciò di :

- Un dispositivo in grado di magnetizzare l' elemento in prova.
- Un sistema che sia in grado di rilevare le eventuali variazioni di flusso nell' elemento.
- Un registratore di dati.

Un passo essenziale nell' esame magnetoinduttivo consiste nella magnetizzazione longitudinale della fune con campi magnetici continui utilizzando induttori diversi di diversa natura. Questi ultimi convogliano il flusso nella fune tramite espansioni polari. In ogni caso il metodo è quello della magnetizzazione diretta (metodo continuo) in concomitanza della rivelazione del difetto in quanto la magnetizzazione residua non è efficace nella rilevazione dei difetti interni. Le tecniche di magnetizzazione impiegano induttori a solenoide avvolgente la fune o a magneti permanenti in grado di saturarla.
Il primo caso ,e anche il più semplice, è realizzato con un avvolgimento di materiale conduttore, a forma di spirale, creando una bobina che avvolga la fune e abbia asse parallelo a quest' ultima.
Facendo attraversare il conduttore da una corrente di intensità nota è perciò possibile generare un campo magnetico dal valore desiderato. Il valore del campo magnetico generato deve raggiungere dei valori prossimi alla saturazione nella fune infatti, più ci si avvicina a tali grandezze e maggiore sarà il segnale provocato da difetti geometrici del materiale. Si è notato inoltre che i vari difetti ritenuti propri dati dalle caratteristiche magnetiche proprie del materiale rimangono praticamente inalterati.

La corrente utilizzata per alimentare le bobine teoricamente potrebbe essere sia di tipo continuo che alternato ma si preferisce solitamente utilizzare il primo tipo. Per intensità immediatamente superiori ai 20 Hz la corrente alternata provocherebbe valori diversi di induzione magnetica tali da provocare minor sensibilità nelle parti centrali della fune che sono inoltre quelli di più interesse.
Vi sono altre geometrie costruttive che sfruttano lo stesso principio come quello che vede montata la bobina di campo (eccitatrice) su un dispositivo a forma di C ,costituito da materiale ferromagnetico, in cui le parti terminali avvolgono la fune senza venirne a contatto ma lasciando uno spazio di pochi millimetri.
Inoltre per migliorare la distribuzione delle linee di flusso i dispositivi possono essere raddoppiati rendendo la struttura simmetrica e più precisa.

Il tratto di fune magnetizzata non dovrebbe superare i pochi centimetri ma per limiti costruttivi vengono interessate lunghezze variabili tra i 20 e i 50 cm. Così facendo la zona in cui le linee di flusso mantengono andamento assiale è maggiore rendendo il tratto centrale, dove avviene la misura, praticamente indipendente da vari effetti distorsivi agli estremi.

Generalmente i valori raggiunti con questa soluzione sono :

Per l' induzione magnetica è di circa 2 Tesla con una forza elettromotrice compresa tra i 7000 e 20000Axsp

Il secondo metodo per la generazione del campo magnetico si basa sull' impiego di magneti permanenti.

I magneti permanenti sono realizzati utilizzando materiali che a seconda della loro composizione si dividono in quattro classi :

- Samario Cobalto
- Neodimio ferro Boro
- Alnico
- Materiali ceramici (ferriti)

Il parametro che caratterizza l' efficienza tra questi gruppi è il rapporto tra "il massimo prodotto di energia specifica" e la densità.

$\xi = BH_{max} / \rho$ BH_{max} : massimo prodotto dell' energia specifica

ρ : densità

CLASSE	BH_{max} [kJ/m^3]	γ [g/cm^3]	ξ [J/kg]
1) SmCo	100÷240	8.3	12÷29
2) NdFeB	100÷380	7.4	14÷50
3) Alnico	8÷70	7	1.1÷10
4) Ceramici	8÷35	4.8	1.7÷7.3

Figura 6.7 classe dei magneti permanenti

Classificazione dei materiali per la realizzazione di magneti permanenti secondo le loro proprietà :

- Induzione residua
- Intensità di campo coercitivo (secondo induzione o polarizzazione)
- Massimo prodotto dell' energia
- Densità
- Smagnetizzazione al variare della temperatura.

Gli apparecchi a magneti permanenti solitamente sono apribili in due parti come in quelli a solenoide e la disposizione dei magneti permanenti può essere :

- Parallela alla fune : accoppiati alle espansioni polari che hanno la funzione di ridurre la riluttanza del traferro nonché di allungare il campo magnetico per renderlo sufficientemente uniforme.
- Radialmente alla fune e posti all' estremità dell' apparecchio : sono collegati tra loro con le polarità contrarie tramite gioco esterno.

La rilevazione delle discontinuità avviene per mezzo di bobine induttive il cui segnale, dipende dalla variazione del flusso nell' unità di tempo. Il principio sfruttato è quello espresso dalla
"legge di Lenz":

"Un flusso magnetico in diminuzione induce una f.e.m. e quindi una corrente, quest'ultima genera un campo magnetico di verso tale da opporsi alla diminuzione del flusso (in questo caso il campo indotto è concorde con quello esterno). Allo stesso modo, per una f.e.m. indotta da un flusso magnetico in aumento, la corrente avrà verso che si oppone all'aumento del flusso magnetico (il campo magnetico è opposto a quello esterno)".

Le bobine, a seconda che rilevino la componente radiale o assiale del campo del flusso disperso si definiscono in quanto tali, cioè : "bobine radiali" e "bobine assiali". Con la bobina assiale si può anche riuscire a quantificare la sezione mancante nella fune, grazie alla possibilità d' integrare il segnale a differenza del derivativo finora adottato in Italia.

Il sensore a bobina è caratterizzato da 2 parametri geometrici :

- Raggio della bobina : più vicina è la bobina alla fune e più aumenta la sensibilità della stessa.
- Lunghezza della bobina : Più stretta è la bobina e più si perde in sensibilità. Compensabile con l' aumento di spire.

La bobina radiale è costituita da due bobine in serie tramite contatti esterni. La formazione di queste bobine è a sella e sono avvolte in modo bifiliare su di un nucleo magnetico a grani orientati. Questo tipo di bobina ,a differenza delle bobine assiali, non è interessato da alcuna linea di flusso fintanto che il campo non è disturbato.

La bobina assiale era inizialmente costruita da diverse bobine collegate in serie, di cui ciascuna costituita da due bobine appaiate e collegate elettronicamente in opposizione di fase allo scopo di ottenere segnali magnetoinduttivi analoghi a quelli della bobina radiale. Attualmente le bobine possono acquisire il segnale

differenziale della coppia di bobine e il segnale di una bobina integrato lungo la fune con sistemi computerizzati.

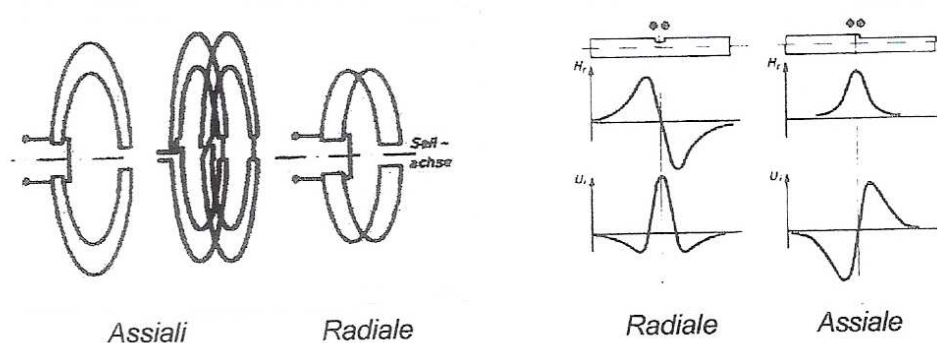



Figura 6.8 schematizzazione delle bobine

In alternativa al metodo magnetoinduttivo viene proposto il metodo con sonde Hall che si basa sull' effetto omonimo e più precisamente sulla legge di Lorenz.

Legge di Lorenz : "un oggetto elettricamente carico che si muove all' interno di un campo magnetico è soggetto a una forza (forza di Lorenz) con direzione sempre perpendicolare a quella del moto".

Il dispositivo di rilevazione è costituito da uno o più trasduttori collegati tra di loro che generano una tensione proporzionale all' intensità del flusso magnetico che li attraversa.
La sonda Hall è realizzata mediante una lamina di materiale semiconduttore drogato. Attraversata da una corrente I e immersa in un campo magnetico H di direzione perpendicolare alla corrente la lamina è quindi interessata, per la legge di Lorenz, da un campo elettrico (differenza di potenziale ΔV) normale sia alla direzione della corrente che a quella del campo magnetico. La forza di Lorenz deviando gli elettroni provoca un addensamento delle cariche su una faccia rispetto all' altra generando una differenza di potenziale.

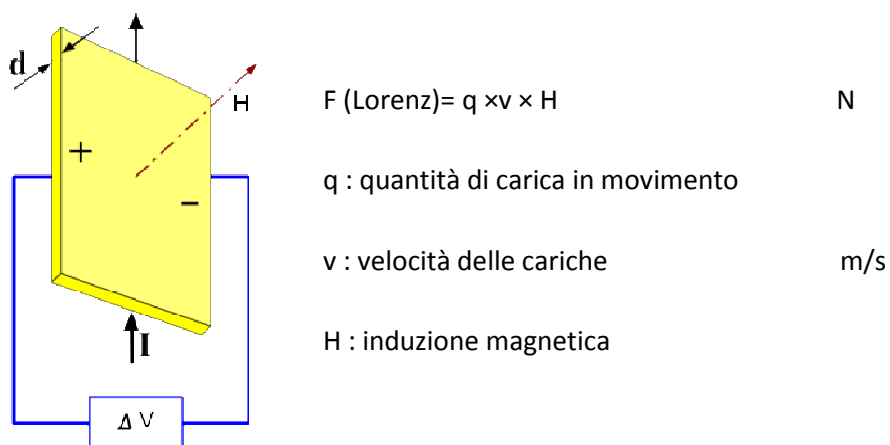



Figura 6.9 effetto Hall

$$V_h = \frac{1}{ne} \times \frac{HI}{d} \qquad R_h = \frac{1}{ne}$$

V_h : tensione di uscita

e : carica dell' elettrone

n : concentrazione degli elettroni

d : spessore della lamina

R_h : costante di Hall

Nell' applicazione relativa al controllo delle funi le sonde Hall possono essere installate in due modi :

- Assialmente allo scopo di integrare il segnale
- Radialmente ed in questo caso devono essere disposti appaiati su due circonferenze vicine e collegati elettronicamente in opposizione di fase allo scopo di ottenere un segnale differenziato simile a quello della bobina radiale.

La registrazione ed acquisizione è svolta da registratori di tipo analogico o digitale. Nei primi le penne sono montate su galvanometri e il segnale magnetoinduttivo viene amplificato prima del' invio al galvanometro stesso. I secondi acquisiscono il segnale magnetoinduttivo, lo campionano e forniscono un segnale digitalizzato con frequenza di campionamento almeno 10 volte la massima frequenza.

6.2.3 Composizione dell' apparecchiatura di prova

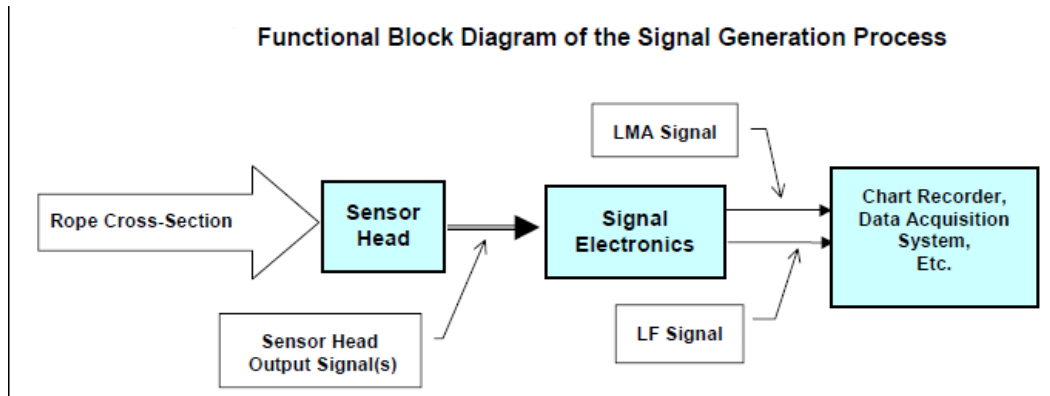



Figura 6.10 Schematizzazione della composizione dell' apparecchiatura

L' apparecchio di prova solitamente è composto da due elementi principali collegati tra loro mediante cablaggi elettici.

Il primo è il detector : é l' elemento che viene installato direttamente sulla fune da esaminare. Esso è costituito da 5 elementi che sono :

- L' elemento magnetizzante
- Sensori di rilevamento dei difetti
- Misuratore della lunghezza di fune esaminata
- Dispositivi atti a consentire il moovimento relativo tra dispssoitivo e fune
- Elementi di fissaggio, prese e spinotti per il cablaggio

Figura 6.11 A Detector monofune

Figura 6.11 B Detector multifune

Il detector si divide poi in due tipologie a seconda del metodo utilizzato per la magnetizzazione :

- Detector elettromagnetico
- Detector a magneti permanenti

L utilizzo della prima tipologia offre vantaggi soprattutto di adattabilità alle sezioni di fune da esaminare infatti, variando la corrente di eccitazione possiamo variare il campo magnetico. Il controllo della corrente di magnetizzazione permette anche di ripetere più prove con gli stessi parametri e quindi avere ottimi confronti.

Gli svantaggi invece riguardano prevalentemente la geometria dello strumento, infatti, per le sue caratteristiche deve essere di tipo apribile (conchiglia) perciò tutte le spire devono essere divise in due parti poi collegate tra loro tramite contatti. Il numero delle spire deve essere elevato per garantire un alto amperaggio di corrente. L' elevata corrente necessaria porta anche dei problemi di alimentazione (solitamente batterie)

I detector a magneti permanenti si dividono a loro volta in due tipologie in funzione della disposizione dei magneti:

- Detector a magneti assiali
- Detector a magneti radiali

Nei detector a magneti assiali i magneti, a forma di barre circolari, vengono posizionati a corona con polarizzazione concorde(normalmente) intorno alla fune. Gli estremi delle barre sono collegati all' acciaio della struttura così da reindirizzare il flusso nella fune.

Nei detector a magneti radiali i magneti vengono posti alle estremità dell' apparecchio, in modo radiale, con le polarità allineate lungo un raggio.

Offrono vantaggi soprattutto per la loro compattezza che li rende molto adatti per il trasporto durante i controlli sul posto.

Gli svantaggi sono solamente di natura economica per gli alti costi causati dalla realizzazione apposita dei magneti.

Il secondo componente delle apparecchiature è l' apparecchio rilevatore dei segnali.

Essi si dividono in due tipologie a seconda del tipo di segnale fornito:

- Registratori analogici
- Registratori digitali

I registratori analogici forniscono un segnale solitamente mediante inchiostro su fogli cartacei. Il segnale dalle bobine di rilevazione viene amplificato e fatto passare in un galvanometro. Il galvanometro traduce una corrente elettrica in una torsione meccanica. L' ago oscillando per le turbazioni traccia il segnale prodotto. Dotato di due pennini, uno scandisce il tempo ad ogni impulso del cronometro (per risalire alla velocità di prova) e l' altro segnale quanta fune è stata controllata.
I registratori digitali sfruttano un software proprietario (a discrezione del produttore) il quale rielaborando le perturbazioni di flusso magnetico forniscono l' andamento del grafico direttamente sul display.

Figura 6.12 A Rilevatore analogico

Figura 6.12B rilevatore digitale

Componente non direttamente collegato all' apparecchiatura ma fondamentale per il funzionamento della stessa è il filo test. É solitamente realizzato mediante una porzione di fune di 400/500 mm di filo tondo con diametro simile a quello esterno della fune da misurare. Viene realizzato in laboratorio dove viene inserito al suo interno un difetto (noto) in una posizione ben prestabilita della sezione

Nel caso si debba eseguire la prova su una fune a trefoli, il difetto nel filo test verrà posizionato tra un trefolo e l' anima tessile. Il punto è stato sceso per essere alla distanza massima dalla superficie esterna . Come sappiamo un difetto più è vicino all' asse della fune e più è difficile da rilevare.
Nel caso l' analisi debba essere fatta su una fune chiusa il difetto nel filo test deve essere posizionato nel filo centrale d' anima.
Se l' apparecchiatura deve effettuare il controllo su entrambe le tipologie di funi prima citate, è necessario preparare i due fili test distintamente.
Essendo il difetto noto su questi fili "prova" l' operatore conosce la forma del segnale corrispondente e

facendolo passare nel detector capisce immediatamente se l’ apparecchiatura fornisce un segnale corretto. Infatti prima di esaminare la fune, l’ esaminatore introduce nell’ apparecchiatura uno spezzone di filo test e controlla che il segnale indicato su display o carta corrisponda all’ anomalia. Se così è la prova può iniziare.

Parte grafica dei rilevatori digitali.

La grafica è solitamente realizzata a piacimento del produttore. I dati presenti e le scale sono invece standard ed uguali per tutti.
Primo parametro fornito all’ osservatore è il rapporto tra l’ intensità del segnale e la distanza della fune misurata (dal riferimento iniziale). Possibilità di scelta tra LF e LMA se l’ apparecchiatura dispone di entrambi i rilevatori. L’ utilità di questi diagrammi è quella di fornire un’indicazione sul comportamento della fune sotto carico e una prima stima basilare sull’ andamento del segnale. Nella misura del flusso indotto disperso l’ altezza delle colonne corrisponde all’ intensità rilevata ad una determinata lunghezza. Nel grafico relativo all’ LMA le due linee indicano i livelli di allarme e rifiuto che potrebbero essere raggiunti in presenza di un difetto rilevante.
Il vero controllo della prova viene fornito nei due diagrammi successivi dove il software dopo aver filtrato i segnali forniti dal detector elabora l’ andamento dei dati fornendo due grafici ben distinti. Essi a fine prova vengono salvati e archiviati.
Altra opzione consentita dai rilevatori digitali è la sovrapposizione in tempo reale di due prove a distanza di tempo prestabilita sulla stessa fune. Il programma è in grado di fornire all’ istante l’ avanzamento del difetto nel tempo e di indicare se necessario l’ immediata sostituzione della fune.

L’ ausilio di software dedicati consentono di avere un’ ulteriore informazione (non possibile con rilevatori analogici) : Il massimo numero di fili rotti per lunghezza di fune e la massima perdita di sezione metallica lungo la fune stessa. Indispensabili criteri per determinare il punto di scarto o la periodicità dei cicli da effettuare alla fune

6.2.4 calibrazione apparecchiatura e preparazione degli elementi di prova

La prima operazione da eseguire è la preparazione del dispositivo rilevatore (detector). Vengono scele le bobine rilevatrici in base al loro diametro che deve essere sufficientemente grande da consentire il passaggio della fune (tenendo conto delle eventuali oscillazioni della stessa) e degli eventuali nodi delle impalmature di collegamento al filo test.

Per garantire il centraggio e il mantenimento della posizione relativa tra detector e fune vengono installate bussole di guida in materiale plastico (con diametro idoneo alla geometria della fune). In alternativa viene regolata l' altezza dei rulli di scorrimento in modo da ridurre al minimo le vibrazioni.

Una volta effettuate queste operazioni preliminari il detector è completo e pronto per essere installato sulla fune da controllare. Una volta "avvolta" la fune, con metodologia relativa alla geometria del detector, quest' ultimo viene fissato alla struttura di supporto (in un punto agevole per l' operatore) o direttamente sul mezzo in movimento, se trascinato.

Mediante cablaggi elettrici viene collegato il detector all' elemento registratore (analogico o digitale) e al sistema di alimentazione (batterie se di tipo elettromagnetico) e se ne verifica la continuità dei segnali.

Effettuate tutte le operazioni meccaniche di preparazione si passa alla regolazione dell' elemento di registrazione.

Viene scelta la sensibilità del canale di misura (guadagno dell' amplificatore dle segnale).
Non vi è una regola che definisce tolleranze precise in merito ma è saputo che i valori sono inversamente proporzionali al guadagno. Di conseguenza si deduce che aumentando troppo i livelli di guadagno vengono ad amplificarsi anche i segnali, sia dei disturbi che dei difetti.
Perciò livelli troppo alti di guadagno potrebbero portare alla falsatura della prova. Un ulteriore parametro che può influenzare la scelta della sensibilità da adottare è il "rumore di fondo". Esso è definito come una caratteristica propria di ogni fune e rappresenta l' escursione dell' intensità del segnale in mancanza di difetti rilevanti (la sua prima rilevazione offre una impressione iniziale della fune stessa).Un rumore di fondo eccessivo può quindi fallare la rilevazione dei veri difetti intrinseci perciò, valori appropriati di sensibilità possono correggere questo inconveniente.

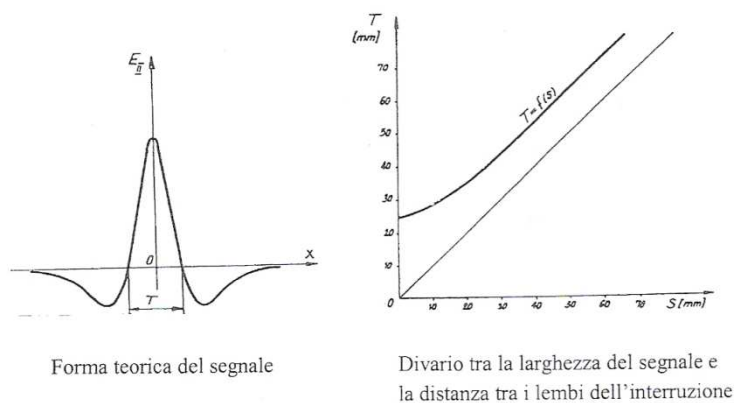
Il fondo scala, definito come il limite dell' ordinata del diagramma segnale/spazio è un altro parametro che non ha vincoli quindi deciso dall' operatore che effettua la prova. Solitamente, mantendendo il più possibile i parametri di prova costanti, si sceglie un fondo scala tale da corrispondere al doppio o triplo dell' ampiezza corrispondente al filo test.
La velocità di prova, come indicato in precedenza, assume valori variabili tra 0.6 e 5 m/s. L' operatore giunto sul posto valuta le caratteristiche dell' impianto e da li procede alla scelta che ritiene più opportuna. Solitamente nella pratica valori attorno ai 2-3 m/s è appropriata per qualsiasi situazione.
Infine andrà fissato il rapporto segnale/disturbo. É il parametro più importante che fornisce il livello qualitativo dell' apparecchiatura utilizzata. Viene solitamente calcolato come il rapporto tra un segnale

noto (filo test) e il rumore di fondo. Perciò maggiore è la chiarezza del difetto dal fondo, tanto più agevole sarà la rivelazione dei dati.

6.2.5 Segnali rilevati

Ogni tipologia di difetto è contraddistinta dalla forma del segnale che viene registrato. Infatti il flusso magnetico indotto subisce deviazioni che dipendono dall' entità di difetto che incontrano. Per questo al fine di riuscire ad interpretare i grafici ottenuti nelle apparecchiature LF e LMA vengono riportate successivamente le tipologie di danni rilevabili e la rappresentazione corrispondente. Ogni segnale possiede una propria ampiezza e intensità :

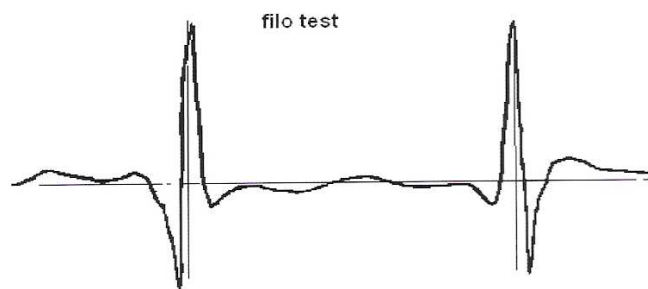
Forma teorica del segnale

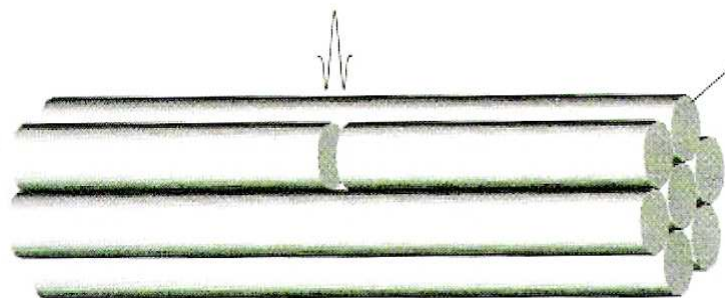
Divario tra la larghezza del segnale e la distanza tra i lembi dell'interruzione

Un' ampiezza (W). Essa è disposta verticalmente rispetto all' ascissa in funzione dellsa sezione del filo,alla lunghezza della rottura del filo o della velocità di prova quando si va ad utilizzare sensori a bobina.

Una larghezza (T) in funzione della distanza di interruzione della continuità del fiilo I segnali possono diventare due e distinguibili tra loro quando la distanza è abbastanza marcata tra le due estremità del filo.

6.2.5.1 Segnale corrispondente al filo test

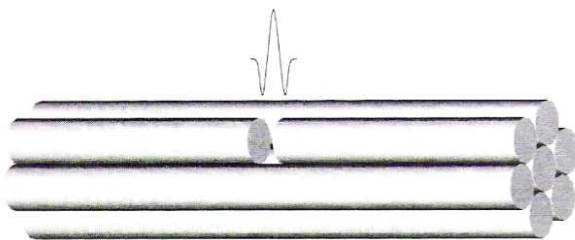
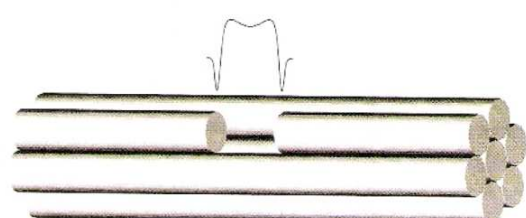
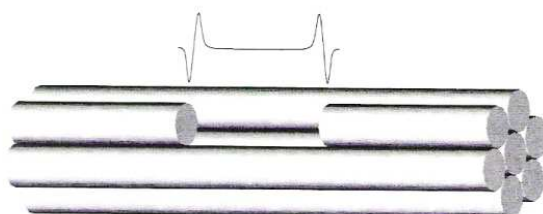
Spiegato nel paragrafo precedente la funzione e struttura del filo di prova qui viene spiegata la tipologia di segnale che il rilevatore individua in esso e il perchè.

Fornisce la prima calibratura della macchina di prova, L' aumento di sezione rispetto all' orizzontale fa si che il suo andamento sia opposto alla rotture. Presenta due picchi più pronunciati nelle sue due estremità.

6.2.5.2 Segnale dovuto a rottura singola

Quando il difetto è causato dalla singola rottura di uno dei fili appartenenti alla fune, il segnale rilevato è caratterizzato da un picco del segnale del display (o foglio).

Distanza considerata "unitaria" tra le estremità della rottura

S mm	0,5	1	2	5	10	20	30	40	50	75	100	150
W mm	3,5	4,8	6,5	8,5	11	13,5	13	12	11	9	8	7
T mm	25	25	25	26,5	29	36	44	54	64	89	114	164
k_s	0,73	1	1,35	1,76	2.3	2,83	2,7	2,5	2,3	1,88	1,66	1,46

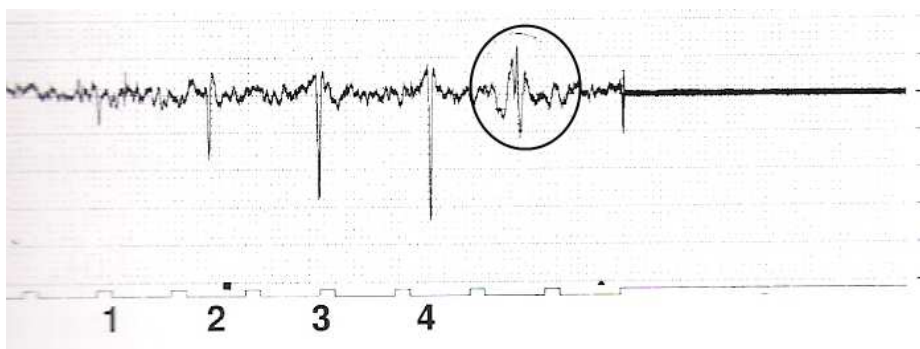
L' ampiezza del segnale è in funzione della distanza presente tra i due estremi della rottura. Maggiore è la distanza del difetto più l' ampiezza del segnale sarà accentuata.

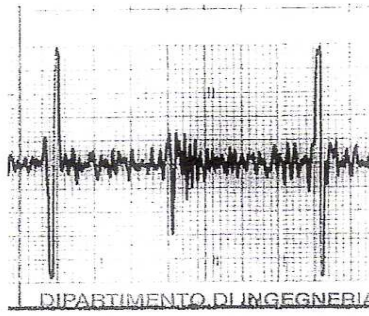
Infatti prendendo come riferimento una distanza unitaria del difetto si nota come il segnale cambi a seconda che l' entità del danno rilevato sia coincidente, doppia, tripla o quadrupla al riferimento preso.

Distanza doppia

Distanza tripla: il segnale perde la cuspide superiore

Distanza quadrupla: il tratto interno alla rottura viene letto come "integro"

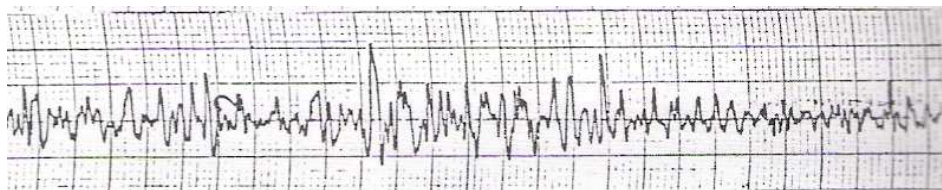
6.2.5.3 Rotture multiple nella stessa sezione

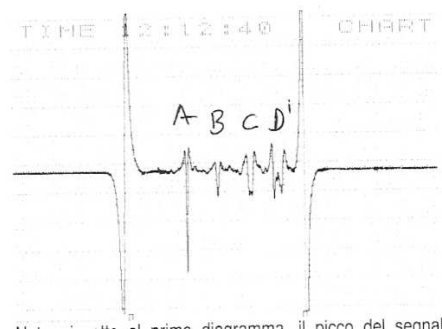
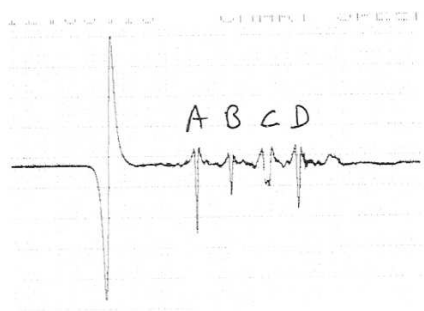
Può capitare che nella stessa sezione siano presenti più rotture contemporaneamente. Qui bisogna fare una distinzione preliminare tra :

Se ci troviamo (A parità di distanza tra le estremità) di fronte a rotture multiple con sezione crescente il segnale aumenterà di intensità all' aumentare dell' ampiezza.

Se le rotture le rotture aumentano ma sono accostati i terminali dei fili danneggiati. Questa è una casistica di difficile interpretazione in quanto il flusso magnetico disperso in queste zone è minore di quello che verrebbe rilevato da una rottura di sezione minore ma a distanza maggioe tra le due estremità. Qui è essenziale un controlo LMA che analizza il flusso totale e non la dispersione.

6.2.5.4 Segnale rilevato in presenza di impalmature

Qui pur non essendoci un danno effettivo l' apparecchiatura rileva delle anomalie. La presenza dei nodi negli incroci tra i codini provoca una variazione del flusso magnetico indotto. Qui sappiamo che il segnale non corrisponde quindi a mancanza di sezione ma dalla presenza di un elemento aggiuntivo. La pratica insegna che la presenza di rotture in concomitanza delle impalmature non è da escludere. Perciò si è davanti a un caso delicato che se presenta dubbi deve essere analizzato da un' accurata verifica visiva. Il segnale solitamente presenta dei picchi marcati in presenza dei terminali dei codini e nei nodi.

6.2.5.5 Segnale corrispondente alla corrosione

Il fenomeno di corrosione può verificarsi anche senza la presenza di rotture di fili. La corrosione essendo distribuita tra i fili solitamente viene letta dall' apparecchiatura con l' aumento sempre più accentuato e irregolare del fondo. Una caratteristica di questo segnale è che le perturbazioni nel grafico presentano un' altezza media quasi costante in tutto il tratto dove la corrosione si è manifestata. Controllando periodicamente e mettendo a confronto i risultati l' avanzamento del degrado viene monitorato.

6.2.5.6 Segnale corrispondente a riscaldamento localizzato

Il riscaldamento localizzato quando si raggiungono temperature che possono portare a variazioni di struttura della fune, fornisce una differente risposta da parte dell' apparecchiatura di prova rispetto alla stessa fune in condizione di esercizio normale. Il riscaldamento produce una distensione delle fibre del materiale variando di conseguenza la permeabilità magnetica di quest' ultimo. Di conseguenza il segnale rilevato è differente e viene indicato come difetto. In laboratorio vari test specifici hanno permesso scaldando vari punti di fune di interpretarne e capire i segnali che sotto vengono riportati

A : difetto artificiale costituito da un intaglio per metà della sezione del filo.

B : riscaldamento a rosso di ciliegia per un tratto di 10 mm

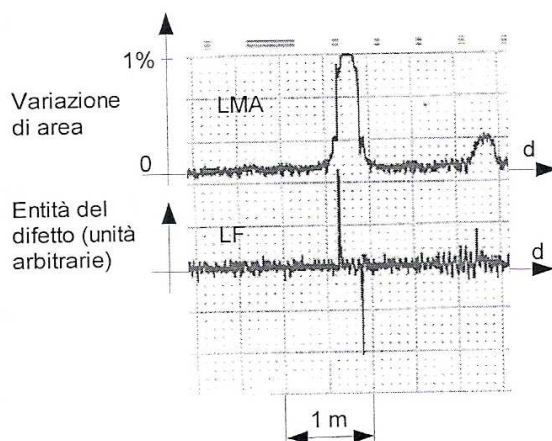
C : riscaldamento a rosso di ciliegia per un tratto di 100 mm

D : riscaldamento a rosso d ciliegia per un tratto di 50 mm

D^i: estensione del tratto di 50 mm a 200 mm sempre a rosso di ciliegia

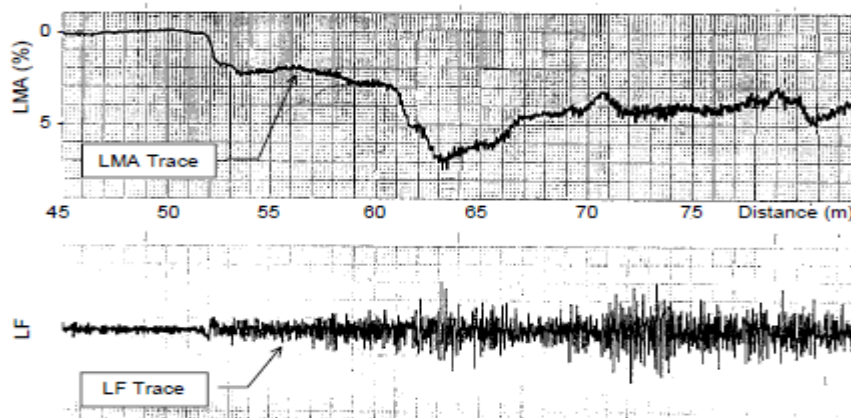
Il tratto più pronunciato alla sinistra è il corrispondente del filo test mentre alla destra di D^i è l' uscita del filo dal detector.

6.2.6 Lettura grafici

I grafici forniti dai rilevatori sono diversi a seconda che si tratti di una rilevazione del flusso disperso o della sezione metallica persa. Se per l' asse delle ascisse in entrambi i casi viene indicata la distanza di fune analizzata per l' asse delle ordinate l' unità di misura è differente. Nel diagramma LF si utilizza l' entità del difetto scelto un valore unitario mentre nell' LMA viene utilizzata la percentuale di sezione persa.

Prova realizzata su fune installata su gru.

Apparecchiatura utilizzata : produttore Kunding

Tipo di fune : fune a trefoli

É comunque possibile analizzare il grafico del controllo e individuare le varie anomalie presenti nella fune.

La parte superiore della registrazione mostra la traccia LMA mentre la parte inferiore mostra la traccia LF . Dal grafico si può notare come la fune non presenti nessun difetto fino a una distanza di prova pari circa a 52 m. Questa porzione di fune si trova direttamente sopra il trasporto (o contrappeso) e, quindi, non si muove mai sopra la puleggia di testa.

La registrazione mostra corrosione e fili rotti a partire da una distanza di circa 52 m. Il punto in cui la fune inizia a presentare anomalie è in concomitanza al contatto con la carrucola quando il trasporto è al colletto dell'albero. Questo tipo di danno può essere spiegato come segue.

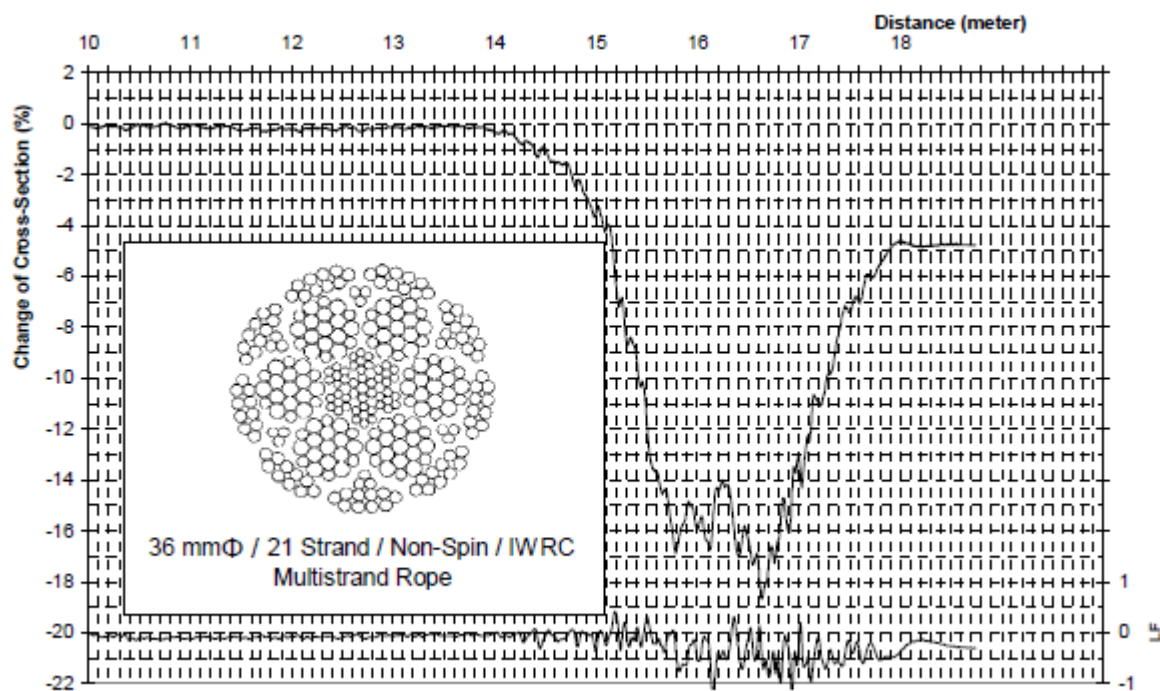
Quando inizia il trasporto la fune è soggetta a oscillazioni essendo il carico da sollevare privo di guide. Inoltre si può notare il tipico manifestarsi di fatica causata dall' avvolgimento e svolgimento su una carrucola in combinazione con accelerazione e decelerazione del trasporto .

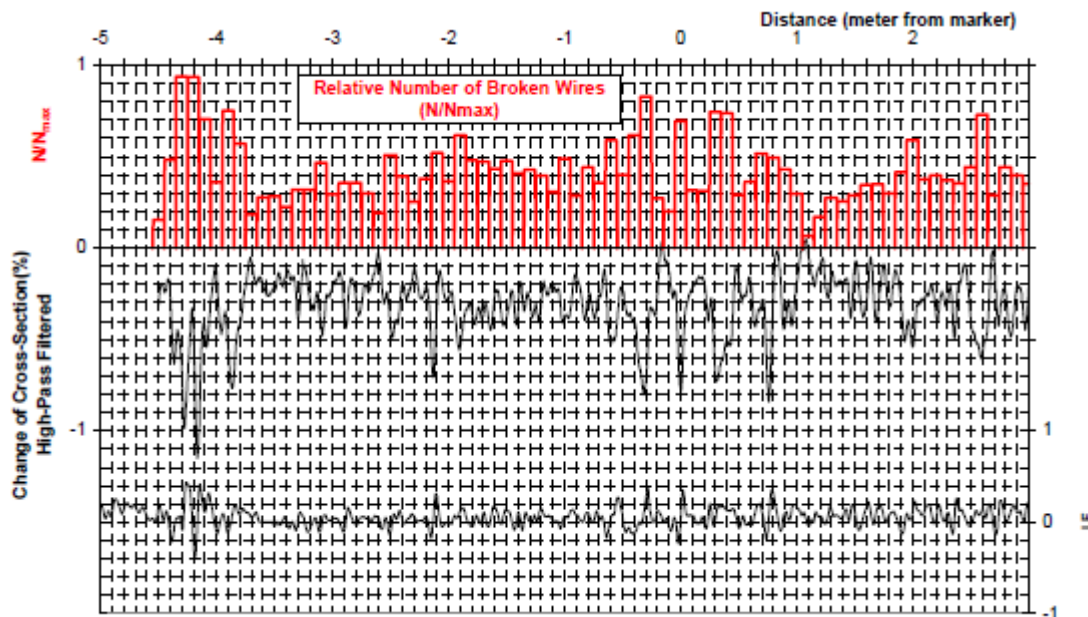
L' esposizione della fune agli agenti atmosferici fa si che con la presenza di acqua può formarsi della condensa al colletto dell'albero. Questo è indicato da diagramma LMA nella distanza tra 60 e 65 m dove si riscontra una perdita di sezione metallica di circa il 7,5%.

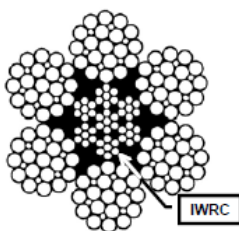
Inoltre, come mostrato nella figura, il danneggiamento a fatica, può causare affaticamento-corrosione in questa sezione della fune . La traccia LF conferma le indicazioni della LMA .

In particolare,il grafico del flusso disperso, mostra corrosione localizzata (vaiolatura).

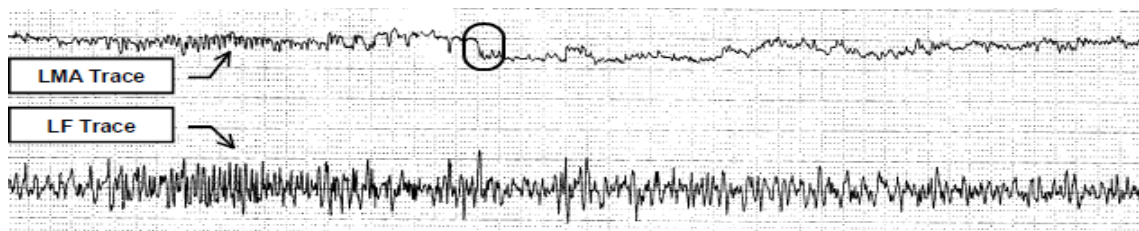
Questa fune si presenta danneggiata; dovrà essere subito scartata quando il suo LMA supera il 10% della sezione trasversale. Pertanto, la condizione di questa fune può ancora essere considerata accettabile.

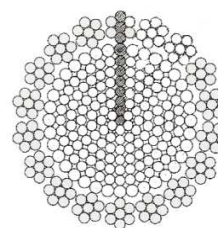
Lettura grafico di fune anti girevole installata su impianto di sollevamento da miniera.
La figura mostra una ispezione magnetoinduttiva di una fune anti girevole per gru da miniera.
Il grafico in figura mostra il tipico andamento della corrosione da acqua. Il diagramma LMA evidenzia una perdita di sezione in percentuale molto marcata tra i 15 e 18 metri. Il grafico LF conferma il danneggiamento infatti, nella stesso tratto di fune, è ben visibile il tipico aumento di disturbo del segnale causato dalla corrosione nella fune. Una rappresentazione della sezione trasversale di questa fune è integrato nell' analisi. Notare che i primi 15 metri controllati non presentano anomalie probabilmente in quanto solo l' ultimo tratto di fune è in contatto prolungato o permanente con acqua e detriti.
Il grafico LMA indica che attorno ai 16,5 metri si è raggiunto un valore di perdita di sezione metallica del 19%, che richiede chiaramente la sostituzione della fune. Un test successivo a trazione (prova distruttiva) ha mostrato una perdita della resistenza alla rottura del 48,3% per la sezione più danneggiata. D'altra parte, la sezione trasversale del secondo strato di fili rappresenta circa il 47% della sezione trasversale totale. Questo suggerisce che il secondo strato di filamenti ha completamente perso ogni capacità portante.

Questo caso illustra l'uso di ispezioni EM per l'individuazione e la caratterizzazione quantitativa di fili interni rotti . Il grafico è relativo alla prova su una fune anti girevole utilizzata su un impianto di sollevamento utilizzato in miniera. La stima del numero di fili rotti per 100 mm di lunghezza della fune N rilevate dalla

traccia LMA, viene visualizzato nella parte superiore del grafico. Qui N_{max} indica il numero massimo di fili rotti per 100 mm di lunghezza della fune . Basato sull' esperienza di funzionamento di questa tipologia di fune, un valore di N_{max} 20 è ritenuto il limite di accettazione. Dall' andamento del grafico LF sono ben visibili numerosi picchi caratteristici della rilevazione di fili rotti. Si nota sempre da questo andamento che la fune non presenta né usura né corrosione per l' intera lunghezza: infatti non vi è un disturbo di segnale accentuato e diffuso. Dall' andamento dell' analisi LMA sono presenti in vari punti percentuali di perdita di sezione elevati caratteristici di difetti (rotture fili).

La linea rossa rappresenta il grafico che mette in relazione il numero di fili rotti per unità di lunghezza. Notare come i segnali LF e LMA presentano variazioni che sono di ampiezza maggiore dove il numero di fili rotti è maggiore. Tra -5 e -4 e intorno allo 0 sono stati rilevati i danneggiamenti maggiori.

Questo esempio si occupa del controllo di una generica fune a trefoli (IWRC) con un diametro di 89 mm.

Sezione della fune esaminata.

Il grafico mostra i risultati dell'ispezione effettuata su quest' ultima. L ' immagine mostra chiaramente una grave logorazione su tutta la lunghezza causata da fatica a trazione per la presenza di un pesante carico fluttuante(come detto rappresentata dall' aumentare del disturbo del segnale). Si noti che sia la linea LMA che la linea LF mostrano il tipico pattern di fili rotti e mancanti.

Infatti sono presenti (soprattutto a metà diagramma) picchi più pronunciati che sono il segnale di diffuse rotture dei fili costituenti i trefoli. Nell’ area messa in evidenza danneggiamento di entità grave con probabile interessamento dell’ anima. Il diagramma LMA presenta infatti un salto pronunciato in quel tratto.

6.2.7 Controllo su funi

Dati fune :

Tipo di fune	Ercole
Diametro	67,0 mm
Numero fili	295
Formazione	18 (6 + 1) + (36 +36+30+24+18+12+6 + 6 + 1)
Diametro fili in mm	3,18 3,68 3,12 1,36 3,36 3,60
Sezione metallica	2,373 mm^2
Passo del trefolo nella fune	642 mm
Passo dei fili nel trefolo	96 mm
Avvolgimento	Z/S
Anno di costruzione	1980
Ditta produttrice	Redaelli
Provenienza	funivia Sesto-Monte Elmo-Bolzano

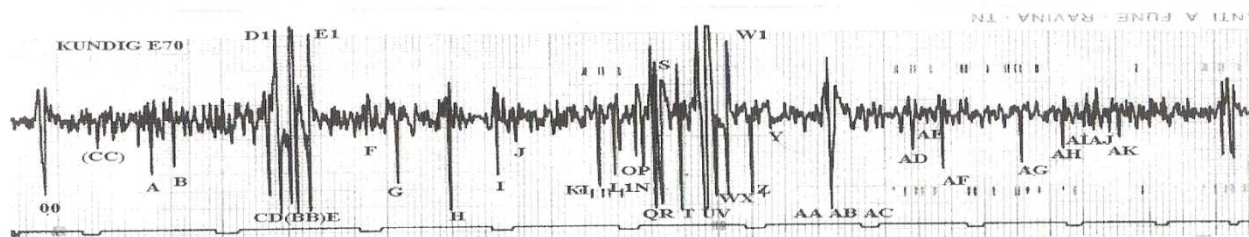
Fune tolta d’ opera.

Laboratorio incaricato dell’ indagine LATIF (Trento)

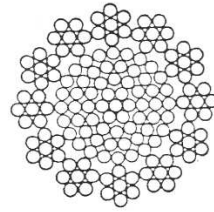
Modalità di prova : messa in tensione della fune e ripetizione dell’ esame magnetoinduttivo.

Dati apparecchiatura :

Strumento utilizzato	Kunding E70	Diametro bobine	75 mm
Tensione alimentazione	12 V	Tipo di bobine	2 intere
Corrente alimentazione	82 A	Sensibilità canale 1	- mV f.s.
Velocità relativa	2,0 m/s	Sensibilità canale 2	10 mV f.s.
Velocità carta	proporzionale.		

Grafico segnale LF relativo alla prova :

Resoconto dei danni rilevati:

Riferim.	N° fili rotti	Diametro (mm)	Riferim.	N° fili rotti	Diametro (mm)	Riferim.	N° fili rotti	Diametro (mm)
OO	2	3,68	K	2	3,68	X	1	3,68
(CC)	1	3.12	L	1	3,68	W1		3,68
A	1	3,68	M	1	3,68	Z	2	3,68
B	1	3,68	K(1)		3,68	Y	1	3,68
C	1	3,68	L(1)		3,68	AA	2	3,68
D	1	3,68	N	1	3,68	AB	1	3,68
BB	1	3,18 trefol	O	1	3,68	AC	1	3,68
D(1)	-	3,68	P	1	3,68	AD	1	3,68
E	3	3,68	Q	1	3,68	AE	1	3,68
E(1)	1	3,68	R	1	3,68	AF	11	3,68
F	1	3,68	S (Q1)	1	3,68	AG	1	3,68
G	1	3,68	T	2	3,68	AH	1	3,68
H	1	3,68	U	2	3,68	AI	1	3,68
I	1	3,68	V	2	3,68	AJ	1	3,68
J	1	3,68	W	1	3,68	AK		3,68

Altro esempio :

Dati fune :

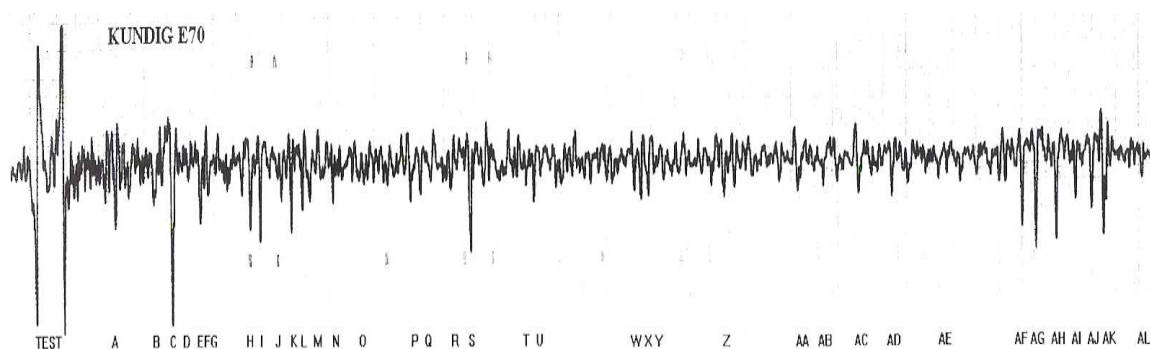
Tipo di fune :	Ercole
Diametro:	48 mm
Numero fili	145
Formazione :	12 (6 + 1) + (24 + 18 + 12 + 6 + 1)
Diametro fili in mm :	3,18 3,40 3,18 3,40
Sezione metallica :	1166,3 mm^2
Passo dei fili nel trefolo :	92 mm
Passo del trefolo nella fune	472 mm
Anno di costruzione	1981
Ditta produttrice :	Redaelli
Provenienza :	funivia Ortisei-Furnes-Bolzano

Laboratorio incaricato dell' indagine LATIF (Trento)

Modalità di prova : messa in tensione della fune e ripetizione dell' esame magnetoinduttivo

Dati apparecchiatura :

Strumento utilizzato	Kunding E70	Diametro bobine	60 mm
Tensione alimentazione	10 V	Tipo di bobine	1intera+ 1 mezza
Corrente alimentazione	60 A	Sensibilità canale 1	5 mV f.s.
Velocità relativa	2,0 m/s	Sensibilità canale 2	- mV f.s.
Velocità carta	25mm/s.		

Risultati della prova :

Resoconto dei danni rilevati :

Il danno è il medesimo in ogni punto segnato da A ad Al e si tratta di 2 fili rotti

Fa eccezione il punto C. Si può infatti notare come il segnale è, come negli altri casi, il tipico picco causato da rottura ma di ampiezza decisamente maggiore. In questa zona è presente la rottura di 4 fili di diametro 3,18 mm con una sezione mancante del 2,73 %.

Note aggiuntive : Lubrificante utilizzato di scarsa qualità ha presentato all' esame visivo scarso potere adesivo, attitudine a staccarsi riducendosi a scaglie a bassa temperatura

Altri esami effettuati su funi che sono state in precedenza danneggiate. Questa importante metodologia di analisi ha un ruolo estremamente importante infatti, conoscendo posizione e entità del difetto, è già noto il tipo di segnale che verrà rilevato dall' apparecchiatura utilizzata. Il segnale di riferimento è stato realizzato con dispositivo INTEGRA. Nel caso non fosse tale, l' elemento di prova non potrebbe essere ritenuto idoneo. Inoltre l' osservatore può apprendere meglio i segnali per quando effettuerà prove su funi in esercizio. Esempio di accettazione.

Dati fune :

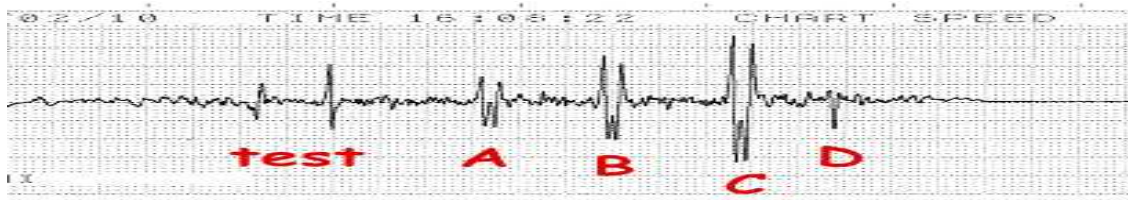
Tipologia di fune :	chiusa zincata
Diametro :	62 mm
Numero fili :	211
Formazione :	44 + 38 + 32 + 30 + 24 + 18 + 12 + 6/6 + 1

Diametro e altezza fili : 5,20 5,20 5,20 4,05 4,05 4,05 4,05 1,82/4,33 4,51

Sezione metallica : 3914 mm^2

Anno di costruzione : 1992

Centro di controllo L.A.T.I.F.

Difetto	n. fili rotti	Sezione	Sezione mancante %
A	1- 4,05 mm	12,88 mm^2	0,33
B	2-4,05 mm	25,76 mm^2	0,66
C	3-4,05 mm	38,64 mm^2	0,99
D	1-4,0 mm	12,88 mm^2	0,33

Dati prototipo :

Velocità relativa : 2,0 m/s

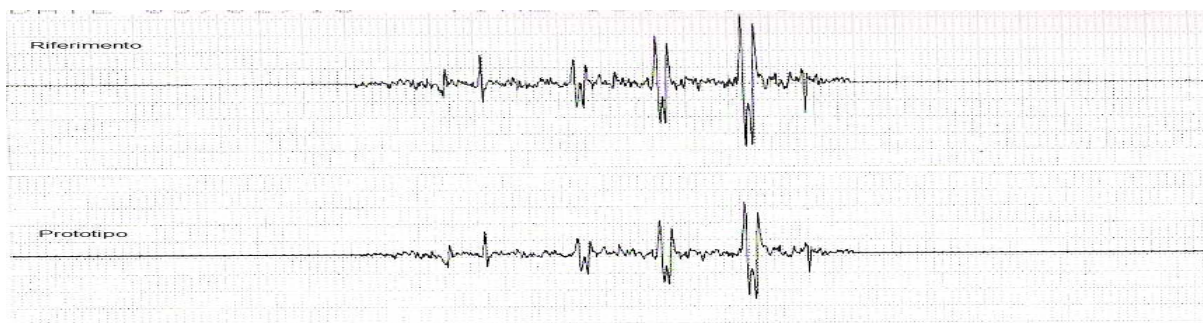
Sensibilità canale 1 : 200 mV per spira

Diametro bobine: 2 bobine diverse

Sensibilità canale 2: 50 mV per spira

Tipo di bobine : 2 bobine intere

velocità carta proporzionale

Diagrammi a confronto :

Dal confronto non si notano differenze sostanziali. L' apparecchiatura può essere ritenuta idonea al controllo funi in conformità con la normativa europea UNI EN 12927-8.

Esempio su fune a trefoli

Dati fune :

Tipo di fune: A trefoli, in acciaio lucido
Diametro: 12,0 mm
Numero fili; 216
Formazione: 6 (14+7/7+7+1)
Diametro fili esterni: 0,67 mm
Sezione metallica //
Massa nominale: 0,55 Kg

Dati apparecchiatura test.

Tensione di alimentazione : variabile — Tipo bobine: 2 intere

Corrente di alimentazione: 60 A — Sensibilità canale 1: 100 mV per spira

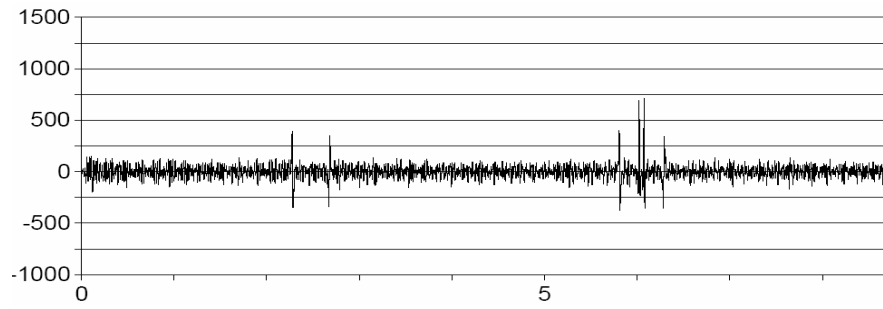
Velocità relativa: 1m/s — Sensibilità canale 2: 100 mV per spira

Diametro bobine: 40 mm — velocità carta: 20 mm/s

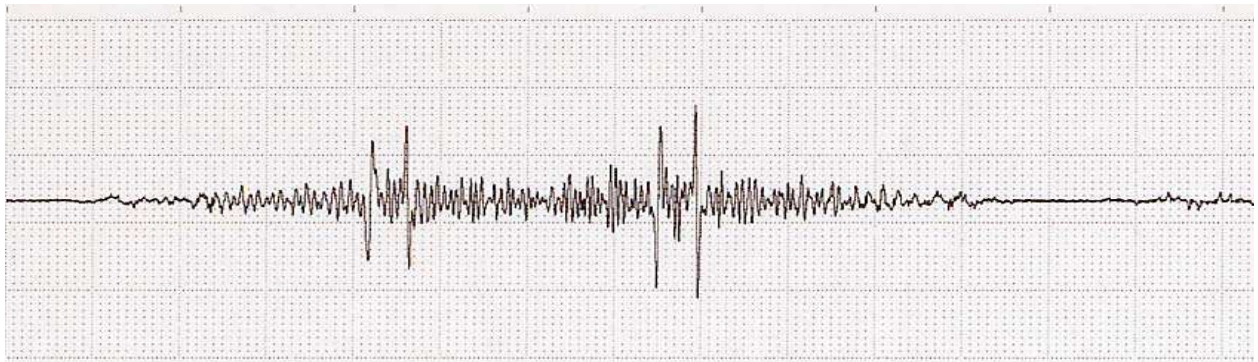
Esternamente alla stessa, sono stati posizionati spezzoni di filo diam.0,80 mm:

n.1 spezzone L=400mm
a circa 3,30m dal primo, serie di spezzoni in sequenza:

L=200mm / 3mm aria / L=50mm / 3mm aria / L=200mm

Grafico prototipo da certificare:

DIFETTO **Test 400mm** **200mm / 3mm / 50mm / 3mm / 200mm**

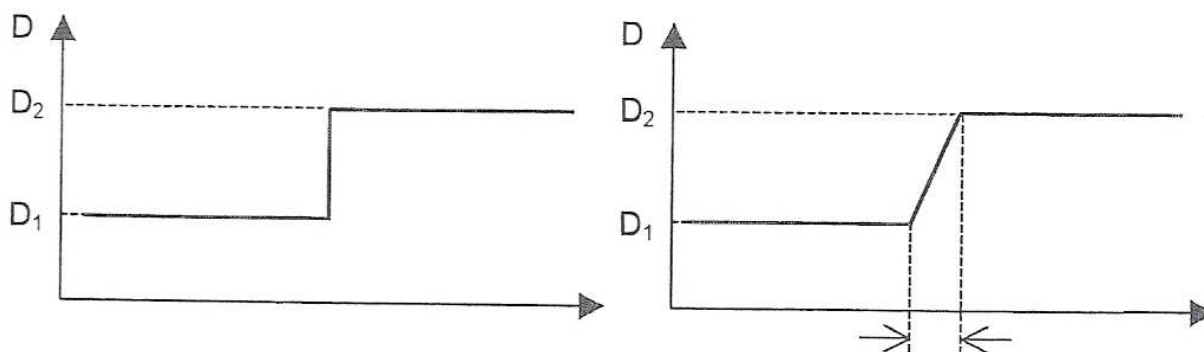
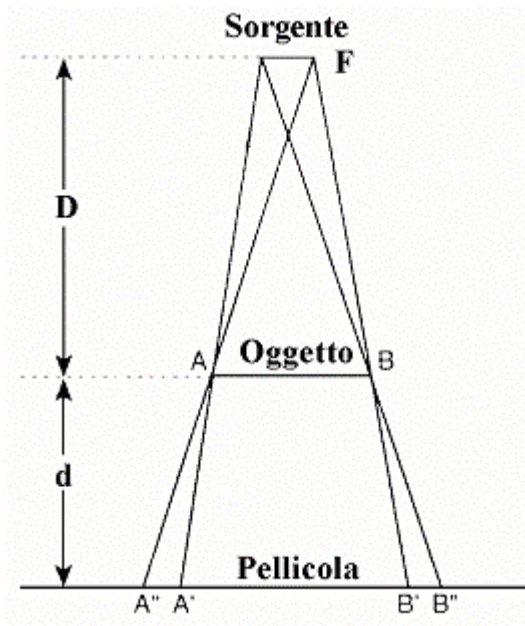
filo aria filo aria filo

Grafico apparecchiatura di riferimento INTEGRA

6.3 Esame radiografico

É un controllo non distruttivo che viene utilizzato nel controllo di quelle funi in cui non è possibile effettuare il controllo visivo. Funi non visualizzabili internamente (funi Chiuse) e dove l' ispezione è difficoltosa (funi Ercole) sono alcuni esempi. L' esame radiografico permette di rilevare fili rotti internamente ala fune a condizione che la superficie di frattura abbia un andamento ortogonale rispetto all' asse dei fili. Questo avviene nelle rotture a fatica che si possono verificare in corrispondenza ai due imbocchi delle carrelliere ed in minor misura sulle estremità delle scarpe di stazione e sostegno. É inoltre adatto all' analisi di tutte quelle zone in cui l' esame magnetoinduttivo, per il suo principio di funzionamento, non è in grado di rilevare l' entità del danno o dove per la geometria degli elementi non può essere traslato. Per contro l' esame radiografico non è in grado di rilevare fili rotti con superficie di frattura trasversale rispetto all' asse dei fili. Questo tipo di rottura può verificarsi in campata o in punti particolari come conseguenza dei fenomeni di tensocorrosione, generalmente tipici delle funi Ercole essendo le chiuse per struttura difficilmente penetrabili dall' acqua. L' interpretazione dai dati ottenuti con questo metodo può essere resa più agevole se il personale addetto possiede una buona conoscenza delle caratteristiche della fune e buona padronanza nell' utilizzo delle apparecchiature necessarie.

La qualità radiografica è definita oggettivamente da due parametri :

- Contrasto
- Definizione

Il contrasto radiografico è definito come la differenza della densità tra due aree adiacenti $C= D_2-D_1$. La definizione è intesa come la rapidità di passaggio tra le densità D_1 e D_2 .

La definizione radiografica è misurata dalla penombra geometrica cioè dalla distanza minima che ci può essere tra due oggetti radiografati distinguibili. La penombra dipende dalle dimensioni della macchia focale.

$p = F \times \frac{d}{D}$

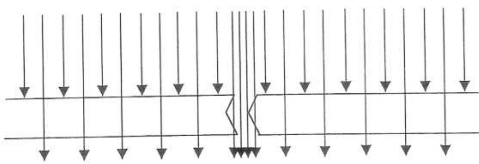
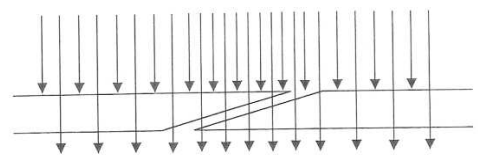
p: penombra geometrica

F : dimensione della sorgente

D : distanza Sorgente-oggetto

d: distanza oggetto-pellicola

Danni rilevabili

Possono essere rilevati tutti quei difetti o anomalie macroscopiche o in posizione favorevole.
Questa difficoltà è data principalmente dalla struttura della fune, insieme di fili intrecciati, che presenta molti "vuoti radiografici" tali da non poter consentire il rilevamento di cricche, danni minimo o rotture con sezioni molto ravvicinate. In figura vengono riportati due esempi di danni rilevabile con l' esame radiografico:

Filo rotto per fatica su carrelliera.

Filo rotto per tensocorrosione (tipico fune Ercole)

L' esame radiografico viene effettuato con l' ausilio dei raggi X o dai raggi γ preferendo i primi in quanto l' apparecchio a raggi X consente la regolazione dei parametri di prova, che nella sorgente gammagrafica sono immodificabili, e quindi si possono ottenere radiografie sempre ben definite e contrastate.

Raggi x

I raggi X sono radiazioni elettromagnetiche che hanno la stessa natura elettromagnetica della luce e delle onde radio. Differiscono per la frequenza e per l'origine. Hanno lunghezze d'onda comprese nella gamma tra 0.001 nm e 10 nm circa, a cui corrispondono frequenze nella gamma da 3x1020 e 3x1016 Hz (f = c/l.) e quindi energie comprese fra i qualche keV e migliaia di keV (E =hf). Si parla di raggi X duri per quelle radiazioni con lunghezze d'onda tra 0.001 nm e 0.1nm. Si indicano come RX molli quelli per l= 0.1 nm e 10nm. I raggi X necessitano di una sorgente di energia elettrica esterna capace di fornire una tensione di alcuni kV fino a 600kV. Sini adatti per piccoli spessori, quindi nel nostro caso per funi di diametro ridotto.

Raggi γ

I raggi gamma si distinguono dai raggi X per la loro origine: i gamma sono prodotti da transizioni nucleari o comunque subatomiche. Il metodo con raggi gamma sfrutta l' attitudine di quest' ultimi di attraversare i corpi opachi e di impressionare una pellicola fotografica posta a contatto del corpo da sottoporre a controllo. I principali isotopi utilizzati sono IRIDIO 192, CESIO 137, COBALTO 60, sottoforma di piccole pastiglie contenute in apposite capsule e contenute in involucri schermati al piombo. Vengono solitamente preferiti ai raggi X in quei casi in cui vi è la necessità di radiazioni molto penetranti, radiazioni ad alta energia o quando per ingombri l' alltrezzatura a raggi X non possa essere trasportata o non sia disponibilie energia elettrica per alimentarla.

7 Normative

Le normative in materia si possono raggruppare in grandi categorie:

- norme che riguardano le varie tipologie di macchine e impianti per sollevamento cose o persone
- norme che riguardano le funi e il loro controllo
- norme uni nel controllo magnetoinduttivo
- norme per l' accettazione delle apparecchiature
- certificazione del personale addetto ai controlli

7.1 normative sugli impianti

La legislazione nazionale per l'esercizio di macchine e impianti per operazioni di sollevamento materiali e persone prevede l'obbligo di controlli e verifiche periodiche, in considerazione delle potenziali conseguenze in caso di malfunzionamento o collasso delle stesse.
L'art. 71 del D.Lgs. 81/08 prevede che le attrezzature di lavoro "soggette a deterioramenti che possano dare origine a situazioni pericolose" siano sottoposte a controlli periodici, per assicurarne il buono stato di conservazione e l'efficienza ai fini della sicurezza.
Le normative regolano il tipo e modalità di controllo da eseguire a seconda della tipologia di impianto.

Macchine e impianti per operazioni di sollevamento di materiali e persone
(attrezzature di sollevamento)

La famiglia delle *attrezzature di sollevamento* è costituita da numerose tipologie, con caratteristiche costruttive e d'impiego molto differenti fra loro.

Una prima classificazione delle *attrezzature di sollevamento* può essere fatta in base alla:

Tipologia di carico da sollevare:

Si distinguono le attrezzature destinate al solo sollevamento di materiali (gru, argani e paranchi) e montacarichi destinati al sollevamento di materiali e persone (piattaforme di lavoro elevabili, auto sollevanti su colonne, gli ascensori ecc..)

Modalità di sollevamento del carico:

Comprendono le *attrezzature di sollevamento* per soli materiali (gru, argani e paranchi) che sollevano e movimentano un "carico oscillante", ovvero sospeso mediante elementi non resistenti a flessione (funi, catene e simili)

Tipologia di installazione :

Attrezzature di sollevamento installate in maniera permanente: ascensori, montacarichi e carroponte.
Attrezzature installate in maniera temporanea: elementi trasportabili come le gru a torre, gli ascensori/montacarichi da cantiere ecc.
Attrezzature mobili:(semoventi e non semoventi) quali ad esempio le gru su autocarro e le piattaforme di lavoro mobili elevabili.

Questa differenziazione fra le varie tipologie di *attrezzature di sollevamento* si riflette naturalmente sul diverso percorso legislativo e normativo che ha caratterizzato taluni gruppi, sia in termini costruttivi (normativa tecnica), di immissione sul mercato e di messa in servizio, sia in termini di esercizio e quindi di modalità di esecuzione dei controlli e delle verifiche. L'immissione sul mercato degli ascensori è ad esempio disciplinata dalla direttiva europea 95/16/CE (direttiva ascensori) recepita in Italia con il D.P.R. 162/99
Le altre *attrezzature di sollevamento* ricadono sotto la direttiva 98/37/CE (direttiva macchine) recepita in Italia con il D.P.R. 459/96.
Sono previste alcune eccezioni, fra cui gli "ascensori da cantiere per il trasporto di persone o di persone e materiali" che, fino all'entrata in vigore della direttiva 2006/42/CE1, rimangono regolamentati dalla legislazione nazionale, ed in particolare dall'allegato V del Titolo III del D.Lgs. 81/08,
I "sollevatori per il trasferimento di persone disabili", che ricadono nella direttiva 93/42/CEE (direttiva dispositivi medici) recepita con il D.Lgs. 46/97.

Impianti a fune adibiti al trasporto di persone” (funicolari, funivie, seggiovie, ecc.) che sono regolamentate dalla direttiva 2000/9/CE, recepita con D.Lgs. 210/2003.
Per quanto riguarda gli impianti di sollevamento in “servizio pubblico”, vale a dire “adibiti totalmente o parzialmente al trasporto pubblico”, bisogna invece far riferimento al D.P.R. 753/80 mentre i montacarichi in servizio privato, contengono anche un grado di dettaglio maggiore riguardo gli elementi da sostituire o da verificare e prevedono in maniera esplicita il ricorso ai CND.
Agli artt. 4 e 5 sono infatti previsti, a cura di personale qualificato, CND sugli elementi costruttivi, sugli organi meccanici e sulle relative giunzioni saldate contro la cui rottura non esistono nell’impianto efficaci accorgimenti tecnici atti a tutelare la sicurezza dei viaggiatori o del personale.
Tali CND, atti ad individuare l’insorgere di lesioni o di altre manifestazioni di degrado, sono di solito indicati dalla casa costruttrice, tuttavia è previsto che metodi di controllo complementari possano essere scelti dal responsabile di esercizio dell’impianto in relazione al particolare elemento da verificare e al tipo di manifestazione che può essere temuta. Per il controllo delle funi negli impianti funiviari adibiti al trasporto di persone è richiesta invece esplicitamente l’applicazione del metodo magnetoinduttivo.

7.2 Normative riguardanti le fune

Nel caso di funi adibite al sollevamento cose è in vigore :

Coefficienti di sicurezza per funi (Art. 179 D.P.R. 547)
Le funi devono avere un coefficiente di sicurezza di almeno 6 per le funi metalliche, 10 per le funi composte di fibre. Le funi debbono essere sottoposte a verifiche trimestrali.
Le verifiche trimestrali delle funi devono essere registrate nelle apposite pagine dei libretti matricolari, così come è disposto dal D.M. 12-9-1959.
Al fine delle verifiche occorre riferirsi alla norma UNI ISO 4309/84 “Funi metalliche per apparecchi di sollevamento “Criteri di verifica e sostituzione delle funi”.

Attacchi ed estremità libere delle funi (Art. 180 D.P.R. 547)
Gli attacchi delle funi devono essere eseguiti in modo da evitare sollecitazioni pericolose, nonché impigliamenti od accavallamenti.
Le estremità libere delle funi, sia metalliche, sia composte di fibre, devono essere provviste di impiombatura o legatura o morsettatura, allo scopo di impedire lo scioglimento dei trefoli e dei fili elementari.

(D.P.R. 673/82) Per le funi metalliche, per il sollevamento di materiali è d'obbligo l'indicazione del nome del fabbricante e gli estremi dell'attestazione con la quale il fabbricante stesso denuncia le caratteristiche del materiale, pertanto tali organi di sollevamento debbono essere acquisiti solo se rispondenti al D.P.R.673/82
IL D.P.R. E' STATO SUPERATO DALLA DIRETTIVA MACCHINE
La UNI ISO 4309:2008 è la norma il riferimento, per quanto riguarda i limiti di difettosità che costringono alla sostituzione della fune. In una valutazione globale del criterio di dismissione di ciascuna fune si dovrà tenere conto anche di: rotture (solo interne!) su fune di carroponte
Aspetti tecnici, come specifiche del costruttore, contenute nel manuale di uso e manutenzione, gravosità di utilizzo, evoluzione delle rotture, traumi e difetti localizzati, corrosione;
aspetti gestionali, come priorità dell'installazione, danno in caso di disservizio o incidente, tempi e difficoltà di sostituzione, costi; Il metodo è di ausilio in caso di necessità di scelte diverse, contingenti, che potranno essere supportate da controlli supplementari e ravvicinati (es. per sostituzione prevista ma
non possibile e da dilazionare, ritardi nell'approvvigionamento del ricambio, sorveglianza di particolari danni in attesa della sostituzione etc.)
Valutazione dei danni Si segue sempre la UNI ISO 4309: la quantificazione è sempre fatta a seguito di ispezione visiva diretta. Danni rilevati e non visibili, quindi interni, richiederanno l'apertura locale della fune nella zona interessata, sempre per la valutazione visiva diretta, conteggio e quantificazione dei danni stessi, ai fini della decisione circa il mantenimento in opera o sostituzione.

Per le funi usate nello specifico campo di impianti funiviari :
si segue la norma EN 12927 " prescrizioni di sicurezza degli impianti a fune per trasporto di persone-funi**"**
Si articola in sette parti le quali trattano singolarmente:

Criteri di scelta delle funi e dei loro attacchi :stabilisce le tipologie di funi da utilizzare in funzione del loro impiego sui diversi impianti.
Coefficienti di sicurezza: diversi per il tipo di applicazione e tipo fune, stabilisce anche i rapporti di avvolgimento.
Impalmatura delle funi traenti ,portanti traenti e trazione a 6 trefoli : come eseguire giunzioni e tolleranze attacchi di estremità: esecuzione delle teste fuse o secche, tamburi di ancoraggio, morsetti a piastra ecc.
Stoccaggio, trasporto, posizionamento e messa sotto tensione: disposizioni sulla conservazione, trasporto e messa in opera delle funi.
Criteri di rimozione : in termini di percentuale mancante della sezione metallica rilevata dai controlli che ne impongono la rimozione.
Controllo riparazione e manutenzione : disposizioni sulla manutenzione delle funi, frequenza e modalità dei controllo, riparazione e rimessa in opera di funi dismesse.

7.3 Norme sul controllo magnetoinduttivo

La norma EN 12927 nel suo ottavo punto regola i controlli elettromagnetici sulle funi :
Tratta gli apparecchi e i detector per il controllo, fornisce le disposizioni per le modalità di prova e soprattutto le prestazioni minime che devono garantire le strumentazioni di accettazione.
Nello specifico impone di indicare il tipo di rilevatore di difetti (detector) e almeno di uno dei dispositivi di rilevazione (Lf o Lma) installati nell' apparecchiatura di controllo utilizzata.
Impone che vengano indicati nel momento della prova : le caratteristiche dell' apparecchiatura, i parametri da impiegare nella prova, il tipo di fune da analizzare e in particolare la sezione massima da rilevare.
Impone che per ogni detector (con determinate prestazioni proprie) dovrà essere assegnata una fune test dedicata. Precedentemente il difetto campione viene realizzato in laboratorio. La norma stabilisce anche la posizione radiale del difetto da inserire nella fune test. Se il detector è abilitato al controllo di qualsiasi tipologia di fune, le regole stabiliscono di predisporre due funi test : una a trefoli e una di tipo chiuso.
Infine la normativa fissa i limiti minimi di sensibilità e potere risolutivo che il detector deve avere per poter ottenere l' accettazione a iniziare il controllo.

7.4 Normative inerenti alle apparecchiature per esami magnetoinduttivi

Per il controllo delle funi in acciaio adibite ad impianti di trasporto civili, visto l' enorme grado di sicurezza che va mantenuto, sono state realizzate normative specifiche per l' accettazione delle apparecchiature utilizzate.
La normativa EN 12927 prevede una verifica di conformità dell' apparecchiatura preliminare prima del rilascio di una certificazione CE.
Inoltre, per l' Italia, bisogna disporre di una specifica autorizzazione da parte del Ministero dei trasporti.

La normativa europea (TC242 del Comitato Europeo) nella sezione funi fornisce i requisiti minimi che devono essere rispettati dall' apparecchiatura per essere ritenuta idonea.

7.5 Certificazione del personale per i controlli delle funi

La certificazione del personale peri controlli delle funi negli impianti a fune ha avuto uno sviluppo lungo e complesso. Questa certificazione è articolata su tre livelli in sintonia con le normative europee EN 473 e ISO 9712 e prende il nome di :
"Personale esperto nei controlli non distruttivi sulle funi metalliche impiegate per il sollevamento, per il trasporto di, persone e di cose, e per Tensostrutture"

Il primo livello di competenza impone la conoscenza nel :

- Regolare le apparecchiature di prova
- Eseguire le prove
- Classificare i risultati e stendere un resoconto

Il secondo livello esegue e conduce prove nel metodo certificato secondo procedure stabilite, per cui si deve essere in grado di :

- Conoscere la tipologia di funi
- Scegliere la tecnica appropriata di controllo a seconda delle situazioni
- Conoscere i limiti applicativi
- Regolare, tarare le apparecchiature
- Conoscere le tecniche di controllo visivo
- Addestrare il personale per il livello 1
- Organizzare i risultati delle prove e redigere raporti

Per il terzo livello di certificazione l' esperienza minima richiesta è funzone dell' istruzione scolastica, e deve comunque possedere un livello 2 plurisettoriale altrimenti deve aver superato l' esame pratico di livello due presso un centro di esame riconosciuto.

Informazioni specifiche sono contenute nel testo CICPND "Conoscenze minime richieste di qualificazione e certificazione del personale addetto alle PND".

Differenti sono le normative riguardanti il personale adibito al controllo di funi metalliche per impianti di trasporto civili. In questo caso la certificazione del personale è articolata in un unico livello definito " Esperto" e prende il nome di :

"Esperto in controlli Magneto-induttivi di funi metalliche di impianti funiviari per il trasporto di persone".

8 Conclusioni

Dall' esperienza diretta in L.A.T.I.F si è potuto notare concretamente l' efficacia del metodo di controllo magnetoinduttivo, i suoi pregi e difetti.

L' apparecchiatura osservata è in possesso al laboratorio di controllo su funi da ormai trenta anni e viene utilizzata come riferimento per la certificazione delle nuove apparecchiature.

Nella prova a cui si è assistito è stata allestita una fune a trefoli, è stato installato il filo test e montata l' apparecchiatura.

Installazione del filo test

Si è potuto capire che l' utilizzo è molto agevole, basta infatti far scorrere il detector lungo la fune per ottenere una registrazione del percorso fatto. Anche se l' utilizzo e il principio del metodo sono molto semplici la rilevazione dei difetti è precisa e "spietata" e rendono questa apparecchiatura l' elemento di riferimento per il controllo su funi.

Detector di rilevazione

Nella simulazione a cui si è preso parte l' ingegnere ha fatto notare come il difetto è rilevabile alla perfezione e nel punto preciso con una velocità quasi immediata. Infatti mentre la carta esce, con velocità proporzionale alla velocità del detector, si ha un immagine della struttura interna della fune. Al primo segnale di anomalia ci si ferma, e si sa precisamente dove cercare fisicamente sulla fune. Qui viene chiamato in causa il tecnico esperto che, munito di metro misura la distanza dal punto di riferimento sul foglio, lo converte in metri di fune e procede con il controllo visivo. Da li ci si rende conto della necessità di professionalità del personale. E' proprio il tecnico a quantificare con certezza l' entità del danno.

Nello specifico della nostra prova il grafico rilevato ha fatto notare che :

rotture 1 2 multiple 1 1 corrosione

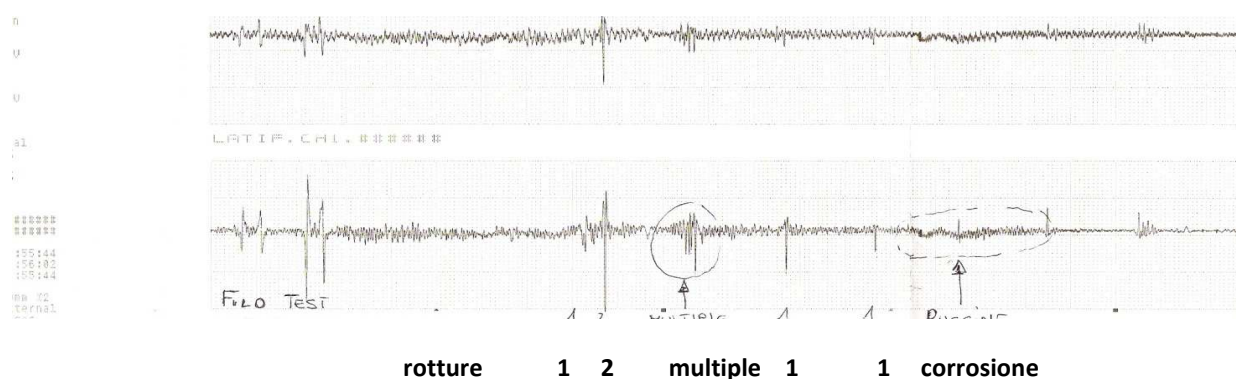



Diagramma della prova

Partendo dal primo segnale a sinistra (filo test) abbiamo una rottura singola seguita da una rottura di due fili subito dopo. Continuando a scorrere il detector si è arrivati in presenza di rotture multiple. Dopo di esse si trovano ancora due rotture singole seguite da un tratto di corrosione (ruggine).

Filo mancante

Filo rotto

In tutti questi punti si è proceduto in questo modo :

Mentre veniva fatto scorrere il detector si monitorava l' andamento del grafico di risposta. A ogni segnale di anomalia ci si fermava, e si andava a visionare la fune in quel tratto per quantificare la portata del danno. Effettivamente i segnali erano tutti precisi e chiari quindi l' individuazione del punto era immediata.

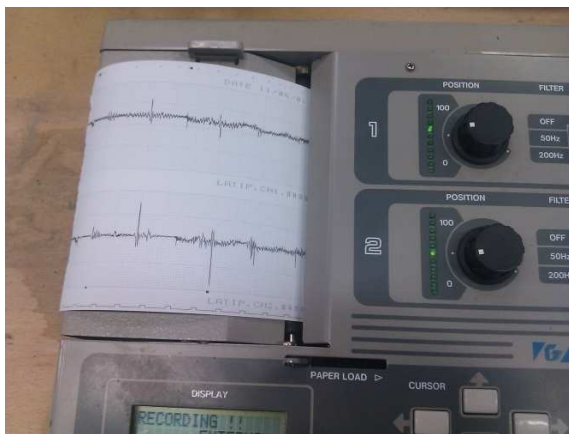



Grafico uscente dal rilevatore

Installazione dell' apparecchiatura

Dalla mia esperienza diretta mi sono potuto rendere conto che :

Il metodo sfrutta principi fisici molto semplici e ampliamente conosciuti. Ogni tipo di danno alle funi può essere rilevato garantendo una elevata sicurezza di controllo. Per contro non può sostituire totalmente la presenza di un giudizio soggettivo da parte dell' operatore. Infatti nella prova a cui ho preso parte la difficoltà maggiore è quella del trovare il danno, soprattutto se interno. Ogni anomalia mi è stata fatta notare da un esperto che seguendomi mi evidenziava i danneggiamenti. L' esperienza sul campo fa quindi capire come sia fondamentale una grande conoscenza della struttura delle funi, dei materiali che la costituiscono e tutti i possibili difetti riscontrabili. Come detto in precedenza non si deve essere ingannati dalla semplicità dell' apparecchio in quanto la gran parte della risposta dell' esame è data dalle indicazioni del tecnico così da non rendere il metodo di controllo magnetoinduttivo utilizzabile da tutti.

Bibliografia

1. “Model for Structure of Round-Strand Wire Ropes” : Niosh, Report of investigations/ 1998.
2. “The Magnetic Flux Leakage inspection of Wire Ropes” : Herbert R. Weischedel.
3. “Sicurezza delle funi in acciaio per funivie” : Ing. Fabio Degasperi-Marzo 2005.
4. “Controlli visivi, dimensionali e magnetoinduttivi delle impalmature delle funi portanti-traenti : Giuliano Stabon,Boris Sosic, università degli studi di Trieste.
5. “Validità e limiti dell’ esame radiografico sulle funi portanti delle funivie a va e vieni” : Elio Cechet.
6. “Esami magnetoinduttivi su funi metalliche : Il contributo della Sicurfuni : sig. F. Lunelli, dott. A. Lunelli, p.i. W. Vedovelli.
7. “Catalogo funi 2005” : Teci trefolo rosso.
8. “Catalogo funi 2007” : Fatzer.
9. “Composite Steel Wire Ropes for Mine Hoisting Applications” : G Rebel, R Verreet and U Briem.
10. “Controlli non distruttivi” : B. Zuccarello, Progettazione meccanica con materiali non convenzionali.
11. “Magnetism in rope wires” : Wire Rope Technology Aachen, Aachen, Germany.
12. “Uni” : Non-destructive testing of steel wire ropes – Induced magnetic inductance flux.
13. “Wire rope technology” : Aachen founded by Roland Verreet.
14. “Controllo magnetic induttivo nelle proposte di norme UNI” : P.L. Dinelli
15. “Sicurezza delle funi di acciaio progettazione delle funi” : Franco Clerici- Redaelli tecnocordati.
16. “Impianto a fune : Stato dell’ arte e della sicurezza” : Trento 10-11 Maggio 2002.
17. “Funi di sollevamento, criteri di scelta, manutenzione, verifica e sostituzione” : ULSS22 Regione Veneto.
18. “NDT of steel ropes with Magnetic Flaw Detectors: Documentation and interpretation of test Results” : Olivier Gronau, Serguei Belitsky, Vasily Sukhorukov.
19. “ Prestazioni e Caratteristiche della nuova attrezzatura LMA per il controllo delle funi in esercizio” : Aldo Canova, Bruno Dalla Chiara, Alberto Vallan, Bruno Vusini.
20. “Le funi sulle funivie : sviluppo ed innovazione” : Convegno Venerdì 18 Maggio 2007-Trento
21. “Appunti sulle funi” : Carmine Napoli.

“Catalogo funi” : Ceccantini S.r.l.